

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA



TESIS

**EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE EN CALDERAS PIROTUBULARES
DEL HOSPITAL ADOLFO GUEVARA VELASCO DEL CUSCO
(ESTUDIO DE PRE – FACTIBILIDAD)**

PRESENTADO POR:

Br. HEBERT LUIS ALARCON AGUILAR

Br. GIAN CARLOS SALAZAR HURTADO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO PETROQUÍMICO**

ASESOR:

Mgt. WASHINGTON JULIO LECHUGA CANAL

COASESOR:

Ing. SANDRO AMÉRICO ARIZÁBAL NOGUERA

CUSCO – PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:
EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE EN CALDERAS PIROTUBULARES DEL HOSPITAL ADOLFO
GUEVARA VELASCO DEL CUSCO (ESTUDIO DE PRE – FACTIBILIDAD)

Presentado por: ALARCON AGUILAR HEBERT LUIS DNI N° 75215453
presentado por: SALAZAR HURTADO GIAN CARLOS DNI N°: 70171678
Para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Petroquímico

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por⁰¹ veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de¹%.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 09 de julio de 2025


.....
Firma

Post firma..... Washington Julio Lechuga Canal

Nro. de DNI..... 23801349

ORCID del Asesor..... 0000-0003-1967-1720

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** oid:27259:472840364

Alarcon Aguilar y Salazar Hurt

TESIS cambio combustible calderos hospital AGV- ALARCON -SALAZAR.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:472840364

Fecha de entrega

9 jul 2025, 4:55 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

9 jul 2025, 5:16 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS cambio combustible calderos hospital AGV- ALARCON -SALAZAR.pdf

Tamaño de archivo

3.7 MB

137 Páginas

36.681 Palabras

189.211 Caracteres

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A nuestras familias, por su amor incondicional, su paciencia y su apoyo constante en cada paso de este camino. Gracias por creer en nosotros incluso en los momentos más difíciles.

A nuestros amigos, quienes con sus palabras de ánimo y su compañía nos recordaron que no estábamos solos en esta travesía.

Y a nuestro asesor, por su guía, sabiduría y por empujarnos a dar lo mejor de nosotros mismos.

Este logro es tan nuestro como de todos ustedes.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra más profunda gratitud a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto:

A nuestro asesore, por su invaluable guía, paciencia y compromiso, que nos impulsaron a superar desafíos y alcanzar nuestros objetivos. Su conocimiento y experiencia fueron fundamentales para culminar esta etapa.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, amor y motivación constante. Gracias por comprender nuestras ausencias y por ser nuestro refugio en los momentos de dificultad.

A nuestros compañeros de estudio, por las conversaciones, consejos y compañía que nos hicieron sentir parte de una comunidad unida y solidaria.

Y finalmente, a todas las personas que, de una forma u otra, aportaron su tiempo, esfuerzo o palabra de aliento. Este logro no habría sido posible sin ustedes.

Hebert Luis Alarcón Aguilar

Gian Carlos Salazar Hurtado

TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos	ii
CAPITULO I	9
GENERALIDADES	9
1.1. Resumen Ejecutivo	9
1.2. Objetivos del Proyecto.....	10
1.2.1. Objetivo general:.....	10
1.2.2. Objetivos específicos:	10
1.3. Justificación	10
1.3.1. Justificación tecnológica	10
1.3.2. Justificación económica	10
1.3.3. Justificación ambiental.....	10
CAPITULO II	11
ESTUDIO DE MERCADO DE VAPOR, MATERIA PRIMA E INSUMOS	11
2.1. Estudio de mercado del vapor.....	11
2.1.1. Oferta y demanda de Vapor	11
2.2. Estudio de Mercado de la Materia Prima.....	11
2.2.1. Oferta y demanda de Agua	11
2.3. Estudio de mercado de Insumos	14
2.3.1. Oferta y demanda de Aire	14
2.3.2. Oferta y demanda de Combustible	14
CAPITULO III.....	18
ESTUDIO TÉCNICO DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE	18
3.1. Localización de la planta de producción de vapor.....	18
3.2. Tamaño de la planta de producción de vapor	18
3.3. Localización del área de ingeniería de la planta de producción de vapor.....	18
3.4. Ingeniería del cambio de combustible para la producción de vapor con Diesel y GLP	19
3.4.1. Evaluación y selección de alternativas de combustibles.....	21
3.4.2. Cálculo de balance de materia para DIESEL	26
3.4.3. Cálculo de balance de energía para DIESEL	32
3.4.4. Cálculo de balance de materia para GLP	37
3.4.5. Cálculo de balance de energía para GLP	41
3.4.6. Almacenamiento de GLP	45
3.4.7. Cálculo de capacidad de vaporización natural en tanques GLP	46
3.4.8. Dimensionamiento de sistema de almacenamiento de GLP	50

3.4.9. Autonomía de tanque	53
3.4.10. Selección de tanque de almacenamiento de GLP	54
3.4.11. Análisis de tanques de GLP	55
3.4.12. Sistema de redes de GLP	56
3.4.13. Reguladores de presión de GLP	62
3.5. Determinación de gases generados	65
3.5.1. Ensamble de elementos – plano de alternativa con GLP	66
CAPITULO IV.....	68
ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON GLP	68
4.1. Aspectos Generales	68
4.2. Estructura Organizativa del proyecto de cambio de combustible para la producción de vapor con Diesel y GLP	68
4.3. Descripción de puestos de responsabilidad y funciones	68
CAPITULO V	69
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON DIESEL Y GLP	69
5.1. Evaluación del impacto ambiental	69
CAPITULO VI.....	77
ESTUDIO LEGAL Y NORMATIVO	77
6.1. Cumplimiento de Regulaciones Locales e internacionales	77
CAPITULO VII	78
INVERSIÓN DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON GLP	78
7.1. Costos de implementación de alternativa con GLP y Diesel	78
7.1.1. Costo de tanques de almacenamiento de GLP	78
7.1.2. Costos directos e indirectos	79
7.1.3. Costos operativos de producción de vapor con Diesel y GLP	81
CAPITULO VIII.....	82
PRESUPUESTO DE GASTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON DIESEL Y GLP	82
8.1. Presupuesto para implementación de alternativa con Diesel	82
8.2. Presupuesto para implementación de alternativa con GLP	83
CAPITULO IX.....	84
EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON DIESEL Y GLP	84
9.1. Evaluación de alternativa con Diesel	84
9.2. Evaluación de alternativa con GLP.....	87
CAPITULO X.....	90
ANÁLISIS DE RIESGOS (RIESGO FINANCIERO)	90

10.1. Riesgos ante variaciones en el costo operativo	90
CONCLUSIONES	92
SUGERENCIAS O RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
Apéndices.....	96
Anexos	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Evolución de precio de agua para la generación de vapor	12
Figura 2 Evolución de consumo de agua para la generación de vapor.....	14
Figura 3 Evolución del precio de compra de Diesel del Hospital Nacional Adolfo Velasco Guevara del Cusco	15
Figura 4 Registro histórico de consumo de combustible en caldera.....	16
Figura 5 Localización del Hospital Nacional Adolfo Velasco Guevara del Cusco.....	18
Figura 6 Diagrama de flujo de proceso.....	19
Figura 7 Esquema de área de ingeniería	20
Figura 8 Calderas operativas en el Hospital Adolfo Guevara Velasco.....	21
Figura 9 Diagrama de flujo de entrada y salida del balance de materia para Diesel.	27
Figura 10 Diagrama de psicrométrico de Cusco.....	27
Figura 11 Diagrama de entrada – salida del balance de materia de Diesel en la caldera (BC:1 segundo).....	32
Figura 12 Diagrama de balance de energía de Diesel en la caldera (BC: 1segundo)	33
Figura 13 Diagrama de entrada y salida de GLP en la caldera.....	37
Figura 14 Esquema desarrollado de balance de materia de GLP en la caldera (B.C. 1 segundo).....	41
Figura 15 Diagrama de balance de energía de GLP en la caldera (BC: 1 Segundo)	41
Figura 16 Valores de constante para porcentaje de llenado del tanque	46
Figura 17 Gráfico de dispersión temperatura ambiente (T °C) vs Factor de corrección	48
Figura 18 Plano Tanques de GLP	57
Figura 19 Plano Isométrico tuberías	64
Figura 21 Plano de alternativa con GLP.....	66
Figura 22 Organigrama del proyecto	68
Figura 22 Tasas de inflación desde el 2015 al 2029 en Perú.....	85
Figura 23 Perfil de sensibilidad ante riesgos financieros de alternativas con Diesel y GLP.....	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Demanda actual de vapor en el Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco	11
Tabla 2 Registro de consumo de agua en el Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco	13
Tabla 3 Propiedades físicas y químicas del Diesel DB5 S50.....	15
Tabla 4 Registro histórico de costo de compra de Diesel del Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco	17
Tabla 5 Especificaciones técnicas de la caldera del Hospital Adolfo Guevara Velasco.....	19
Tabla 6 Comparación de alternativas al Diesel	23
Tabla 7 Criterios de Puntuación de alternativas.....	24
Tabla 8 Valoración de alternativas.....	24
Tabla 9 Criterio de valoración de viabilidad de alternativas.....	25
Tabla 10 Valoración de viabilidad de alternativas	25
Tabla 11 Parámetros de entrada	26
Tabla 12 Resultados de cálculo de humedad relativa	28
Tabla 13 Resultados de balance de materia molar del Diesel	31
Tabla 14 Resultados Cálculo de $Q_{\text{Combustible}}$	34
Tabla 15 Resultados del Cálculo de Q_{Aire}	34
Tabla 16 Resultados del Cálculo de ΔQ_C	35
Tabla 17 Resultados de C_p de componentes del gas de chimenea.....	35
Tabla 18 Variables de los gases de chimenea.	35
Tabla 19 Resultados del Cálculo de ΔH_{Gas}	36
Tabla 20 Parámetros de entrada	37
Tabla 21 Composición del GLP	38
Tabla 22 Resultados de balance de materia molar del GLP.....	40
Tabla 23 Resultados Cálculo de $Q_{\text{Combustible}}$	42
Tabla 24 Resultados del Cálculo de Q_{Aire}	43
Tabla 25 Resultados del Cálculo de $Q_{\text{Combustion}}$	43
Tabla 26 Resultados de C_p de componentes del gas de chimenea.....	44
Tabla 27 Variables de los gases de chimenea.	44
Tabla 28 Resultados del Cálculo de ΔH_{Gas}	44
Tabla 29 Comparativa entre resultados de balance de energía de Diesel y GLP	45
Tabla 30 Poder calorífico Superior del Propano y Butano.....	46
Tabla 31 Factores de corrección por temperatura	47
Tabla 32 Factores de corrección por temperatura ambiental de la ciudad del Cusco	48
Tabla 33 Dimensiones de tanque de 1000 Gln.....	48
Tabla 34 Valores de capacidad de vaporización (BTU/h) para tanque de 1000 Gln	49
Tabla 35 Dimensiones de tanque de 5200 Gln.....	49
Tabla 36 Valores de vaporización (BTU/h) para tanque de 5200 Gln.....	49
Tabla 37 Dimensiones de tanque de 10000 Gln.....	50
Tabla 38 Valores de vaporización (BTU/h) para tanque de 10000 Gln.....	50
Tabla 39 Densidad de componentes de GLP	53
Tabla 40 Resultados de autonomía de un tanque de diferentes capacidades	54
Tabla 41 Comparativa entre alternativas respecto a requerimiento de tanques	55
Tabla 42 Dimensionamiento tanque de 5200 Gln con demanda real.....	56
Tabla 43 Resultados de dimensionamiento de líneas de media presión.....	58
Tabla 44 Resultados de dimensionamiento de diámetro interior líneas de media presión para P_i absoluta =1.205 kg/cm ²	59
Tabla 45 Continuación de resultados de dimensionamiento de diámetro interior líneas de media presión para P_i absoluta =1.21 kg/cm ²	60
Tabla 46 Relación entre diámetros nominales e interiores	60

Tabla 47 Resultados de dimensionamiento de líneas de área de calderas.....	61
Tabla 48 Resultados de dimensionamiento de diámetro en el área de calderas para P_i absoluta =1.104 kg/cm ²	62
Tabla 49 Continuación de resultados de dimensionamiento en el área de calderas para P_i absoluta =1.16 kg/cm ²	62
Tabla 50 Especificaciones técnicas de regulador Emerson tipo 99-510P	63
Tabla 51 Especificaciones técnicas de quemador TGB G650 LX ME	65
Tabla 52 Generación mensual de contaminantes	65
Tabla 53 Criterios de evaluación de magnitud de impacto para matriz de Leopold	69
Tabla 54 Criterios de evaluación de importancia de impacto para matriz de Leopold	70
Tabla 55 Rangos y colores para evaluación de impactos en la matriz de Leopold	71
Tabla 56 Matriz de Leopold para el Diesel	72
Tabla 57 Matriz de Leopold para el GLP.....	73
Tabla 58 Comparativa entre alternativas.....	75
Tabla 59 Costos de implementos de alternativas	80
Tabla 60 Presupuesto para implementación de alternativa con Diesel	82
Tabla 61 Presupuesto para implementación de alternativa con GLP	83
Tabla 62 Flujo de caja nominal de alternativa con Diesel	84
Tabla 63 Flujo de caja real de alternativa con Diesel	86
Tabla 64 Modelo financiero para el Diesel	86
Tabla 65 Flujo de caja nominal de alternativa con GLP	88
Tabla 66 Flujo de caja real de alternativa con GLP	88
Tabla 67 Montos acumulados por año con GLP.....	89
Tabla 68 Comparativa de indicadores financieros de alternativas (Diesel y GLP).....	89
Tabla 69 Riesgos favorables y desfavorables ante cambios en costos operativos con el Diesel	90
Tabla 70 Riesgos favorables y desfavorables ante cambios en costos operativos con el GLP	91

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1.Resumen Ejecutivo

El presente proyecto de tesis plantea la prefactibilidad del cambio de combustible en las calderas pirotubulares del Hospital Nacional Adolfo Guevara Velasco del Cusco, con el objetivo de sustituir el uso de diésel B5 S50 por una alternativa más eficiente, sostenible y rentable, por lo cual, a partir del análisis integral realizado, se determinó que la demanda anual de vapor del hospital asciende a 6 866 208 kg, distribuida entre los servicios de lavandería, nutrición, suministros y calentadores y la capacidad instalada de generación de vapor es adecuada para cubrir esta demanda sin comprometer la continuidad de los servicios hospitalarios; además, se evaluaron cuatro alternativas energéticas: GLP, GNC, GNL y Petróleo Industrial y el análisis técnico identificó al GLP como la opción más favorable, ya que, a pesar de requerir un mayor volumen de consumo, ofrece una eficiencia térmica superior (90% frente al 85%), menores pérdidas energéticas, menores emisiones contaminantes y un sistema de almacenamiento seguro y normativamente viable; además, su consumo de 62.80 gal/h permite atender futuras ampliaciones del hospital.

Por otro lado, desde el punto de vista ambiental, el GLP también presenta menores impactos negativos que el diésel, especialmente en emisiones atmosféricas, uso de agua, riesgo por derrames y generación de residuos y aunque su implementación implica una mayor remoción superficial del terreno, el GLP resulta más sostenible en el balance global de impactos ambientales; económicamente, el cambio al GLP reduce significativamente el costo operativo de la generación de vapor (S/441.52/h frente a S/707.23/h con diésel) y aunque la inversión inicial es ligeramente mayor (S/658 111.22 vs. S/597 749.92), esta se recupera en menos de tres años gracias al ahorro operativo; finalmente, la evaluación financiera confirmó la viabilidad y rentabilidad del proyecto con GLP, con un VAN de S/145 855, una TIR de 18% y un índice B/C de 1.13, superando ampliamente los indicadores del escenario con diésel; además, el sistema con GLP es más resistente a variaciones de precios, demostrando mayor estabilidad a largo plazo.

En conclusión, el cambio de combustible a GLP en las calderas del hospital es técnicamente factible, económicamente rentable y ambientalmente sostenible, representando una mejora significativa en la operación energética del establecimiento de salud.

Palabras clave: Cambio de combustible, calderas pirotubulares, GLP, eficiencia térmica, sostenibilidad ambiental.

1.2.Objetivos del Proyecto

1.2.1. Objetivo general:

Formular un proyecto de prefactibilidad para el cambio de combustible en calderas pirotubulares del hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Establecer la oferta y demanda de vapor del hospital.
- Evaluar la viabilidad del cambio de combustible en calderas pirotubulares del hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco.
- Desarrollar el estudio de impacto ambiental del cambio de combustible en calderas pirotubulares del hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco.
- Realizar y evaluar el estudio económico y financiero del cambio de combustible en calderas pirotubulares del hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco.

1.3.Justificación

1.3.1. Justificación tecnológica

Hoy en día, existen tecnologías disponibles que permiten la sustitución del diésel por combustibles alternativos como el Gas Licuado de Petróleo (GLP), Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Natural Licuado (GNL), los cuales ofrecen ventajas en eficiencia, seguridad y sostenibilidad. La implementación de estas tecnologías en las calderas del hospital facilitará mejoras en el rendimiento, menores emisiones.

1.3.2. Justificación económica

La opción de utilizar otros combustibles se justifica por su mayor eficiencia y menores costos operativos en comparación con el diésel. Además, su recuperación de inversión en un plazo razonable y el potencial de incorporar otras energías más económicas en el futuro refuerzan su viabilidad económica y sostenibilidad a largo plazo.

1.3.3. Justificación ambiental

El uso de diésel en las calderas del Hospital Adolfo Guevara Velasco genera emisiones significativas de contaminantes, afectando la calidad del aire en una zona urbana sensible y poniendo en riesgo la salud de pacientes y personal.

La sustitución por otro combustible permitirá reducir considerablemente estas emisiones, mejorando el desempeño ambiental del hospital. Este cambio contribuye a disminuir la huella de carbono institucional .

CAPITULO II

ESTUDIO DE MERCADO DE VAPOR, MATERIA PRIMA E INSUMOS

2.1. Estudio de mercado del vapor

2.1.1. Oferta y demanda de Vapor

a) Oferta de vapor

Se establece que, para el presente proyecto, la oferta de vapor será igual a la demanda estimada; en primer lugar, la adopción de equipos más eficientes busca asegurar que la producción de vapor se ajuste exactamente a los requerimientos del hospital; además, el reemplazo del combustible actual busca una generación de vapor económica y sostenible, sin alterar el balance entre oferta y demanda.

b) Demanda de vapor

La necesidad de vapor se establece mediante la evaluación de los requerimientos de este recurso en las distintas áreas del Hospital Adolfo Guevara Velazco, ubicado en Cusco, tal como se especifica en la Tabla 1, este cálculo considera las demandas específicas de cada zona del hospital para garantizar un suministro adecuado y eficiente del vapor utilizado en sus procesos, la cantidad necesaria requerida para las diferentes áreas es de 6 357 819.6 kg/año.

Tabla 1

Demanda actual de vapor en el Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco

Servicios	Porcentaje de suministro (%)	Flujo másico de vapor (kg/año)
Lavandería	54%	343 6659.24
Nutrición	7%	429 582.40
Suministro	34%	2 147 912.02
Calentadores	5%	343 665.92
Total	100%	6 357 819.6

Nota. Reporte anual estadístico de EsSalud (2024)

2.2. Estudio de Mercado de la Materia Prima

2.2.1. Oferta y demanda de Agua

a) Oferta

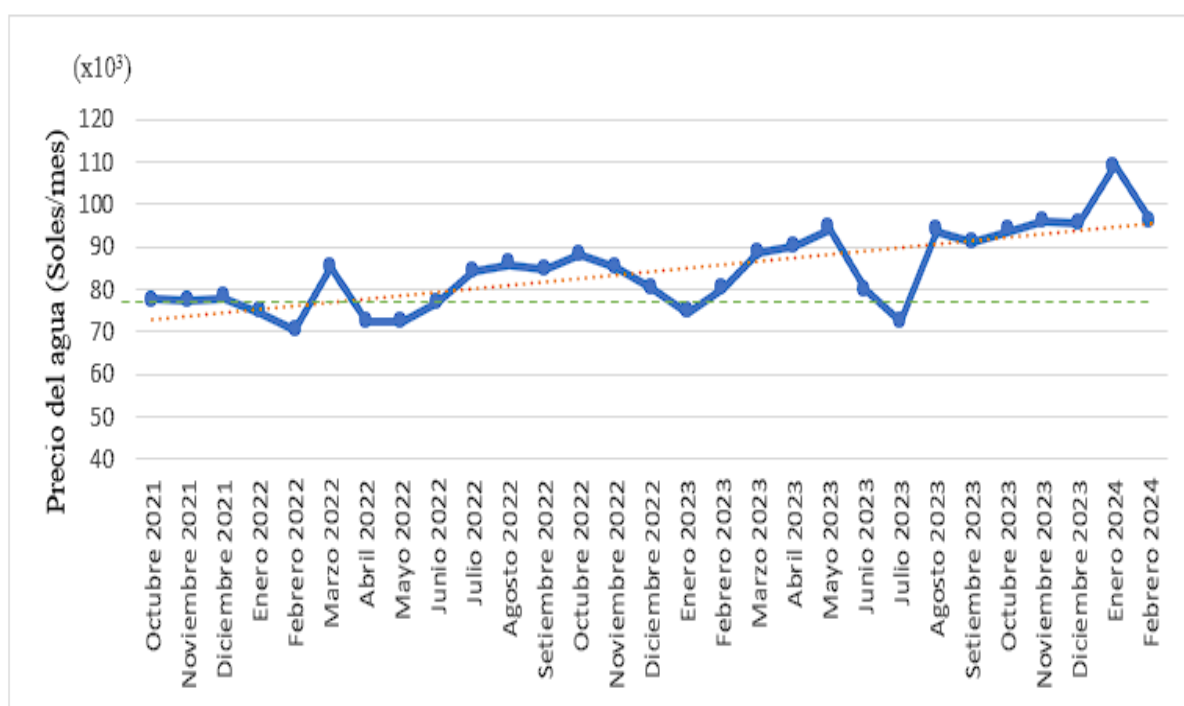
El proveedor de agua potable en la ciudad del Cusco es la Empresa Prestadora de Servicios (EPS) Seda Cusco, la cual cuenta con la capacidad suficiente para abastecer al hospital con el caudal requerido; el recurso hídrico proviene de la laguna de Piuray, cuya dureza promedio es de 160 ppm, clasificándola como agua dura. Esta característica exige la implementación de un sistema de

ablandamiento previo a su utilización en equipos como las calderas, a fin de prevenir incrustaciones y deterioro del sistema y la tendencia de precios del servicio de agua se presenta en la Figura 1.

Asimismo, es importante considerar que, debido a la presión atmosférica promedio en Cusco de 0.71 atm la temperatura de ebullición del agua se reduce a 89 °C.

Figura 1

Evolución de precio de agua para la generación de vapor



Nota. Reporte anual estadístico de EsSalud (2024)

A partir de los datos observados en la Figura 1, el costo del agua para las calderas del Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco muestra al inicio fluctuaciones con valores entre S/ 70 332.3 y S/ 89 866; no obstante, hacia los últimos meses se observa un aumento progresivo, superando los S/ 90 000 y alcanzando un máximo de S/ 109 118.68 por mes.

b) Demanda

El funcionamiento eficiente y seguro de las calderas del hospital requiere el uso de agua blanda, con el fin de prevenir la formación de incrustaciones, la corrosión de los componentes internos y el deterioro prematuro del equipo. Para este propósito, el Hospital Adolfo Guevara Velasco emplea un sistema de ablandamiento por intercambio iónico, basado en resinas catiónicas, que permite reducir significativamente la dureza del agua cruda disponible. La demanda de agua para el funcionamiento de las calderas del hospital se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2*Registro de consumo de agua en el Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco*

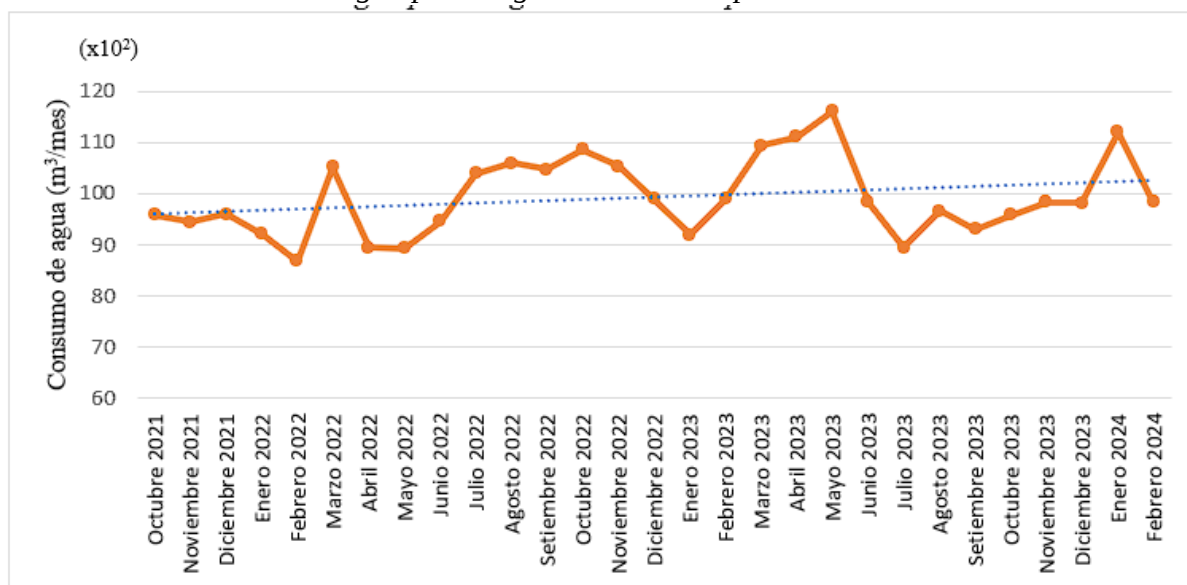
AÑO	Mes	Consumo (m ³)	Precio (s/.)
2021	octubre	9 589	77 670.9
	noviembre	9 447	77 182.0
	diciembre	9 596	77 727.6
	enero	9 202	74 536.2
	febrero	8 683	70 332.3
2022	marzo	10 522	85 228.2
	abril	8 939	72 405.9
	mayo	8 926	72 300.6
	junio	9 461	76 634.1
	julio	10 393	84 183.3
	agosto	10 601	85 868.1
	setiembre	10 469	84 798.9
	octubre	10 860	87 966.0
	noviembre	10 536	85 341.6
	diciembre	9 889	80 100.9
	enero	9 188	74 422.8
	febrero	9 889	80 100.9
2023	marzo	10 931	88 541.1
	abril	11 109	89 982.9
	mayo	11 614	94 073.4
	junio	9 835	79 663.5
	julio	8 942	72 430.2
	agosto	9 655	93 653.5
	setiembre	9 309	90 912.6
	octubre	9 578	93 488.9
	noviembre	9 833	95 783.3
	diciembre	9 821	95 666.4
2024	enero	11 202	109 118.7
	febrero	9 833	95 783.3
Promedio aritmético mensual		9 926	

Nota: Reporte anual estadístico de EsSalud (2024)

La Tabla 2 muestra el consumo de agua en el Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco entre octubre 2021 y febrero del 2024, registrando que el consumo promedio mensual de agua es de 9926 m³; además, la evolución del consumo de agua para la generación de vapor se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Evolución de consumo de agua para la generación de vapor



Nota: Reporte anual estadístico de EsSalud (2024)

La figura 2 muestra la evolución del consumo de agua, desde octubre de 2021 hasta febrero del 2024, se observa que el consumo muestra picos notables en abril de 2022, julio de 2022, octubre de 2022, mayo de 2023 y enero del 2024, que se deben a la demanda creciente de pacientes en el hospital en los periodos antes mencionados.

2.3. Estudio de mercado de Insumos

2.3.1. Oferta y demanda de Aire

a) Oferta

El aire, al ser un recurso natural presente en la atmosfera se encuentra disponible para su uso en las operaciones de generación de vapor, además las propiedades de este incluyen 60% de humedad relativa y la temperatura a la que se encuentra en el ambiente es en promedio 12 °C.

b) Demanda

El aire requerido para la producción de vapor en las calderas, además de la cantidad necesaria demanda un 30% en exceso que es necesario para la combustión del combustible empleado en las operaciones.

2.3.2. Oferta y demanda de Combustible

a) Oferta de Diesel

De acuerdo con el Registro de Distribuidores Hábiles Mayoristas de Osinergmin (2025), la región Cusco cuenta con disponibilidad de Diésel BS50, Gasohol 84 Plus, Gasohol Regular y GLP; sin embargo, no se registra oferta de Gas Natural ni Residual 500. En este contexto, el Hospital adquiere el diésel necesario para su operación a la empresa Repsol, la cual es un proveedor establecido y con

presencia consolidada en la región, asegurando el suministro constante y confiable del combustible requerido. Las propiedades químicas del Diesel BS50 se muestran en la tabla 3.

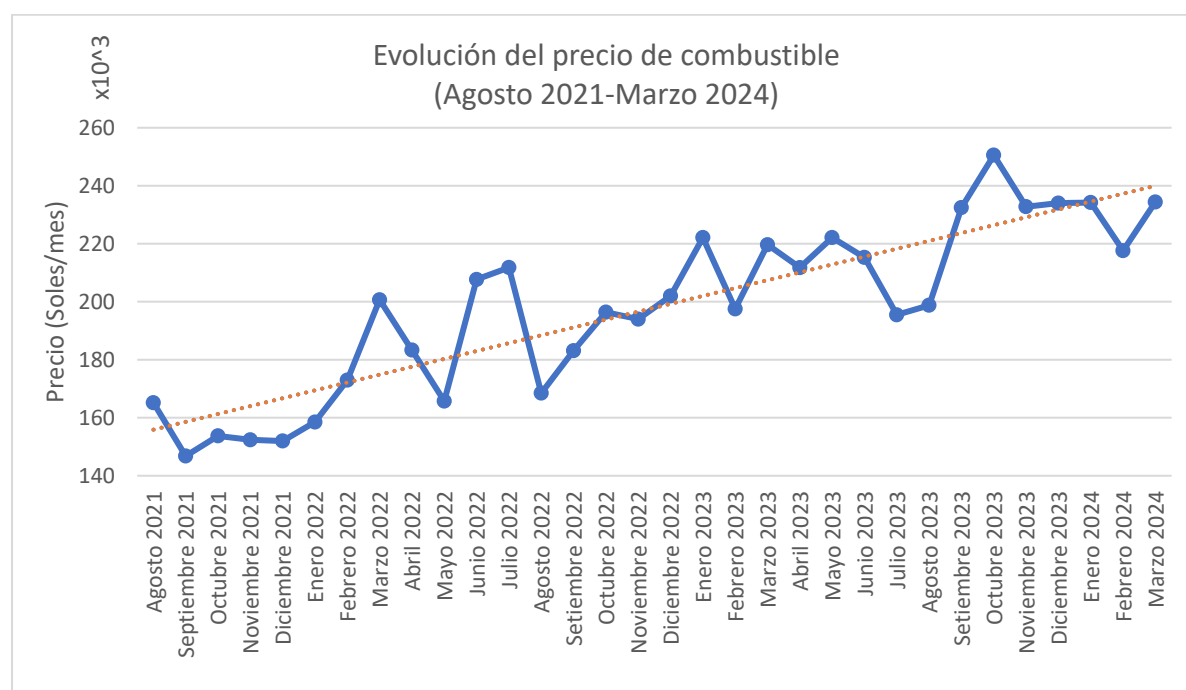
Tabla 3
Propiedades físicas y químicas del Diesel DB5 S50

Propiedad	Valor típico	Unidad	Comentario
Aspecto	Líquido aceitoso	-	Característico del diésel refinado
Densidad	0.87	g/cm ³ (a 15 °C)	Influye en el poder calorífico y flujo
Punto de inflamación	60	°C	Indica la temperatura mínima para inflamación
Poder calorífico neto (PCS)	45.5	MJ/kg	Energía liberada en la combustión
Contenido de azufre	50	ppm	Impacta en emisiones contaminantes

Nota. (REPSOL, 2016)

La evolución del precio de compra de Diesel se muestra en la Figura 3.

Figura 3
Evolución del precio de compra de Diesel del Hospital Nacional Adolfo Velasco Guevara del Cusco



Nota. Reporte anual estadístico de EsSalud (2024)

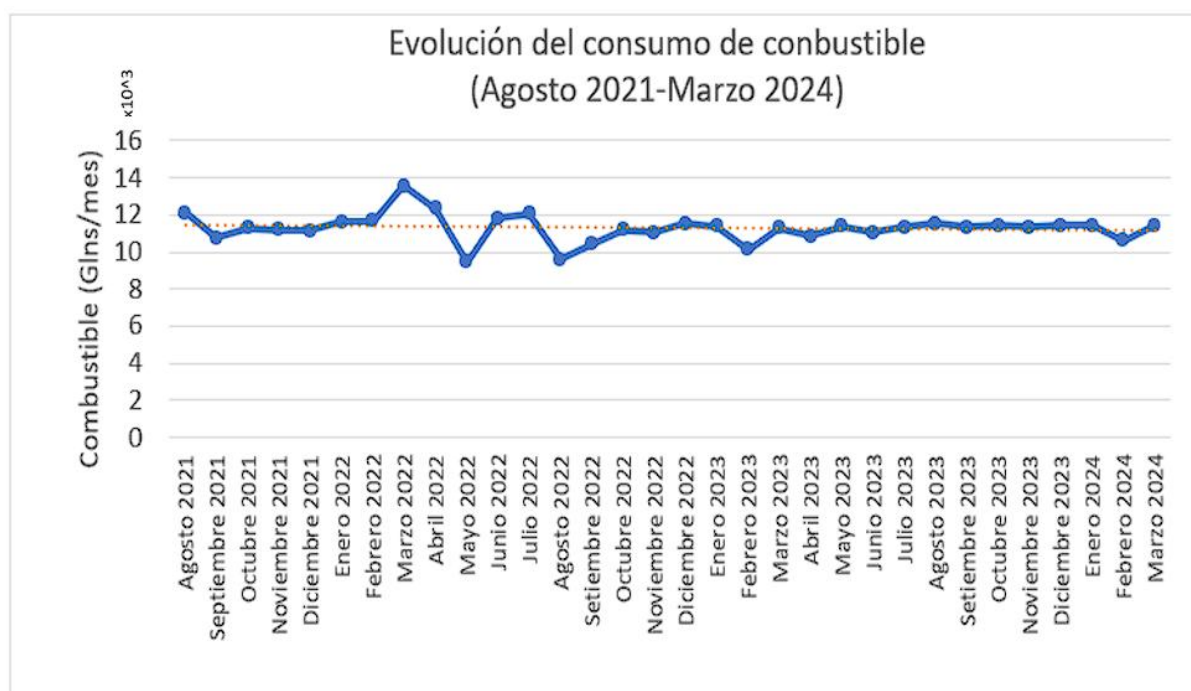
A partir de la tendencia observada en la Figura 3, la evolución del costo de combustible evidencia que, aunque inicialmente los montos se mantenían entre S/ 145 000 y S/ 170 000, a partir de los meses siguientes se percibe un incremento progresivo, alcanzando cifras superiores a S/ 200 000 y llegando incluso a S/ 250 526; es este incremento constante en el costo el que refleja una presión

económica importante sobre el proceso productivo, que está asociada a la variación de precios del combustible en el mercado.

b) Demanda

Las calderas del Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco, consume continuamente de combustible Diesel B5 S50 cuyas cantidades se determinan a través del registro histórico de consumo en la caldera (Tabla 1) y este registro histórico de compras de Diesel desde el año 2021 se muestra que durante el periodo estudiado, se presenta un incremento significativo en el precio unitario del combustible, pasando de S/ 13.63 en 2021 a S/ 21.88 en octubre de 2023, lo que representa un aumento de más del 60 %; En consecuencia, el consumo mensual de diésel en el Hospital Nacional Adolfo Guevara Velasco del Cusco se ha mantenido relativamente constante, con algunas variaciones puntuales (Ver figura 4).

Figura 4
Registro histórico de consumo de combustible en caldera



Nota. Reporte anual estadístico de EsSalud (2024)

De acuerdo con la Figura 4, la evolución mensual del consumo de combustible del Hospital Nacional Adolfo Velasco Guevara de Cusco entre agosto de 2021 y marzo de 2024; a lo largo del periodo, se mantiene relativamente estable, con algunas variaciones puntuales más marcadas, como un incremento en marzo de 2022, descensos en mayo y diciembre de 2022.

El registro histórico de compra de Diesel del Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Registro histórico de costo de compra de Diesel del Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco

Mes	Año	Diesel (Glns.)	Precio unit.(S/.)	Monto S/.
Agosto	2021	12 120	13.63	165 195.6
Septiembre		10 770	13.63	146 795.1
Octubre		11 280	13.63	153 746.4
Noviembre		11 180	13.63	152 383.4
Diciembre		11 150	13.63	151 974.5
Enero	2022	11 630	13.63	158 516.9
Febrero		11 670	14.82	172 949.4
Marzo		13 540	14.82	200 662.8
Abril		12 370	14.82	183 323.4
Mayo		9 450	17.54	165 753
Junio	2023	1 1840	17.54	207 673.6
Julio		1 2075	17.5	211 795.5
Agosto		9 605	17.5	168 471.7
Setiembre		10 440	17.5	183 117.6
Octubre		1 1197	17.5	196 395.38
Noviembre	2024	11 060	18.5	193 992.4
Diciembre		11 515	17.5	201 973.1
Enero		11 390	19.5	222 105
Febrero		10 130	19.5	197 535
Marzo		11 265	19.5	219 667.5
Abril	2023	10 860	19.5	211 770
Mayo		11 390	19.5	222 105
Junio		11 040	19.5	215 280
Julio		11 320	17.27	195 496.4
Agosto		11 510	17.27	198 777.7
Setiembre	2024	11 345	20.49	232 459.05
Octubre		11 450	21.88	250 526
Noviembre		11 360	20.49	232 766.4
Diciembre		11 420	20.49	233 995.8
Enero		11 430	20.49	234 200.7
Febrero	2024	10 620	20.49	217 603.8
Marzo		11 440	20.49	234 405.6
Promedio Aritmético		11 276.93		

Nota. Reporte anual estadístico de EsSalud (2024)

CAPITULO III

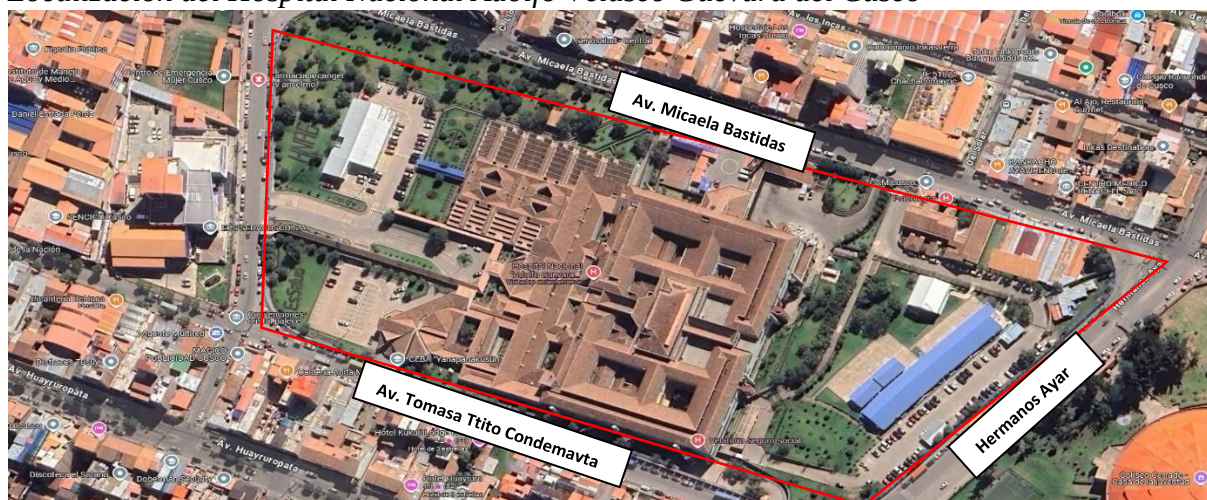
ESTUDIO TÉCNICO DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE

3.1. Localización de la planta de producción de vapor

La localización del proyecto es el Hospital Nacional Adolfo Velasco Guevara del Cusco, reconocido como el principal nosocomio de la Red Asistencial de la ciudad, ubicado en el distrito de Wanchaq, este hospital está rodeado por una red de calles que facilitan el acceso a la zona, entre las que destacan la Av. Micaela Bastidas, la Hermanos Ayar, Av. Tomas Tito Condemaita, las cuales conectan y circundan el área del establecimiento de salud (ver Figura 5).

Figura 5

Localización del Hospital Nacional Adolfo Velasco Guevara del Cusco



Nota. Las coordenadas geográficas UTM de la localización son: 19L 179599.74 mE y 8502818.90 mS.

3.2. Tamaño de la planta de producción de vapor

La demanda actual de vapor en el Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco, desglosado por servicios; según los datos proporcionados por la dirección del hospital (Ver Tabla 4); la lavandería es el área con mayor demanda (3 436 659.24 kg/año), seguida por el suministro (2 147 912.02 kg/año) y nutrición (429 582.40 kg/año); además, los calentadores requieren 343 665.92 kg/año, mientras que la climatización no consume vapor y en total, por lo tanto la planta del hospital necesita producir 6 357 819.6 kg/año de vapor para cubrir sus operaciones.

3.3. Localización del área de ingeniería de la planta de producción de vapor

Se ubican las instalaciones del proyecto en la zona asignada por la dirección del hospital, es decir la zona contigua al "Patio de Maniobras", es decir en la parte superior derecha del plano que se muestra en la figura 6, donde se indica la "Ubicación de instalación de propuesta", es esta área la que se encuentra junto al espacio de circulación peatonal y cerca de los tanques de petróleo (E11) y la elección de ubicación facilita el acceso y la conexión con otras instalaciones importantes, como los

tanques y el depósito de residuos, permitiendo una distribución estratégica dentro de la planta y optimizando el flujo de trabajo y la seguridad en la operación; además se pretende aprovechar para optimizar el espacio disponible ya que actualmente es un área en sin uso; por lo que el espacio descrito cumple con los requerimientos para la instalación de la nueva infraestructura.

3.4. Ingeniería del cambio de combustible para la producción de vapor con Diesel y GLP

Para el estudio de ingeniería del proyecto se toma en cuenta el diagrama de flujo del proceso de vaporización de agua en el Hospital Adolfo Guevara Velasco que se muestra en la figura 8; donde las entradas son el agua que debe ser blanda para evitar incrustaciones en los equipos, esto se logra con el uso de ablandadores de intercambio catiónico que se regeneran con solución de cloruro de sodio; además se conoce que las calderas operan 9 horas por día y 30 días por mes.

Las especificaciones de la caldera se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

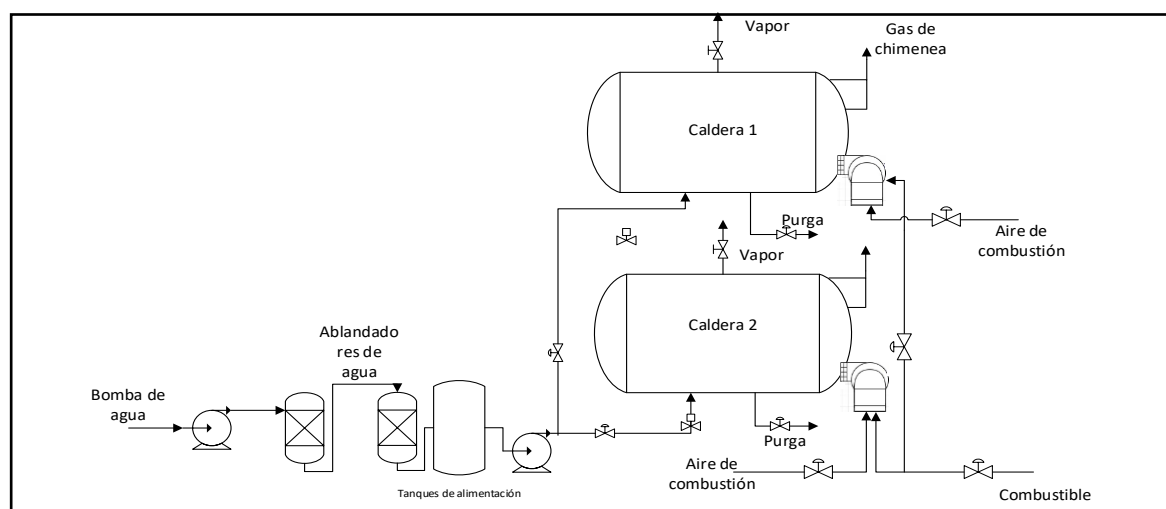
Especificaciones técnicas de la caldera del Hospital Adolfo Guevara Velasco

	Caldera n°1
Potencia de la caldera	500 BHP
Marca	Power Master
Año de fabricación	1980
Producción de vapor	7 824 kgv/hr
Tipo de caldera	Pirotubular
Combustible usado	Diesel 2
Presión de trabajo	150 p.s.i.
Estado actual	Operativa

El diagrama de flujo del proceso de generación del proceso de generación de vapor se muestra en la Figura 6.

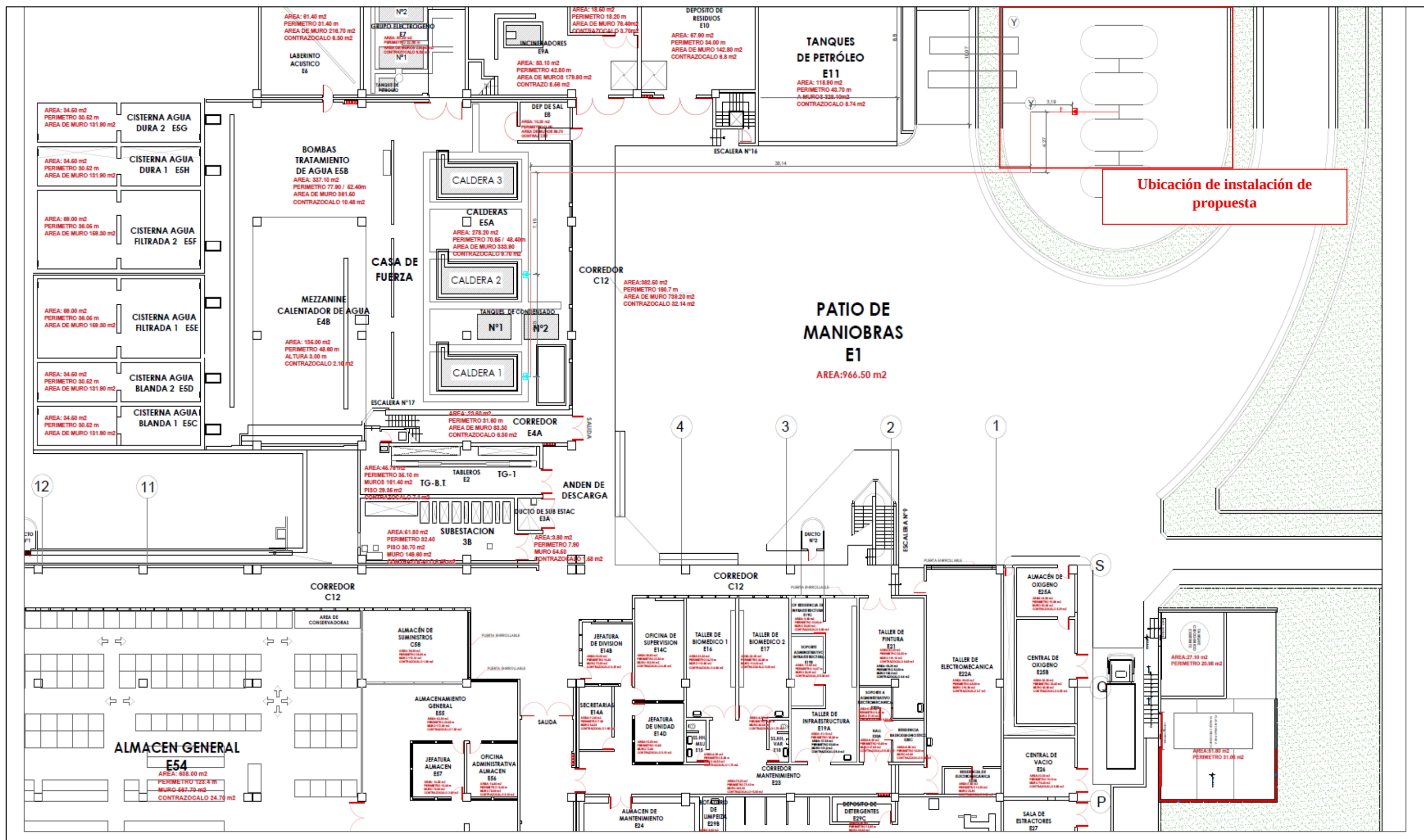
Figura 6

Diagrama de flujo de proceso



Nota. Obtenido de EsSalud (2009)

Figura 7
Esquema de área de ingeniería



Nota. Obtenido de EsSalud (2009)

La Figura 8 presenta el diagrama de flujo del sistema de generación de vapor del Hospital Nacional Adolfo Guevara Velasco del Cusco, el cual cuenta con dos calderas que operan de manera rotativa. Esta modalidad de operación alterna permite garantizar la continuidad del servicio, optimizar la eficiencia energética y facilitar el mantenimiento preventivo. El proceso inicia con una bomba que impulsa el agua hacia los ablandadores, donde se eliminan minerales que podrían causar incrustaciones; luego, el agua tratada se dirige hacia la caldera en operación.

Cada caldera posee un sistema independiente de alimentación de combustible y aire de combustión, necesarios para la generación de vapor. Asimismo, cuentan con líneas de purga para eliminar sedimentos acumulados y una salida de gases de combustión hacia la chimenea. El vapor generado es conducido hacia los diferentes puntos de consumo dentro del hospital.

Este diseño permite mantener la operatividad del sistema aun cuando una de las calderas esté fuera de servicio, lo cual es fundamental para un entorno hospitalario que requiere un suministro constante de vapor; en la figura 8 se muestran las calderas del hospital.

Figura 8

Calderas operativas en el Hospital Adolfo Guevara Velasco



Nota. Obtenido de EsSalud (2009)

3.4.1. Evaluación y selección de alternativas de combustibles

En este apartado se realiza la evaluación de alternativas de combustibles a usar en reemplazo del Diesel, para lo cual se usa el método de decisiones con múltiples objetivos de Keeney y Raiffa (1993), considerando los siguientes criterios:

- **Consumo:** Criterio que evalúa la demanda de combustible actual y la demanda de los combustibles propuestos calculados a partir de sus poderes caloríficos y de la energía que entregaría el combustible actual (ver Apéndice A).
- **Eficiencia:** El criterio evalúa el rango de eficiencia del combustible en la ciudad del Cusco y los niveles a considerar de acuerdo con la Guía de Orientación del Uso Eficiente de Energía y de Diagnóstico Energético del MINEM (2023) son:
 - Media
 - Alta
 - Muy Alta
- **Disponibilidad:** Criterio que evalúa la disponibilidad para la compra de los combustibles en la ciudad del Cusco, los niveles a considerar de acuerdo con las empresas existentes en la ciudad del Cusco como Repsol, Petroperú, etc., son:
 - **Alta:** El combustible se comercializa comúnmente
 - **Media:** El combustible a granel es comercializado por pocos distribuidores
 - **Limitada:** El combustible no es comúnmente comercializado, solo en gasocentros que en la ciudad del cusco son limitados y estos solo comercializan GNC
 - **No disponible:** El combustible no se comercializa en la ciudad del cusco
- **Emisiones:** Criterio que evalúa las emisiones generadas por cada combustible en kg/mes
- **Compatibilidad con instalaciones actuales:** Criterio que evalúa si la caldera necesita alguna adaptación o cambio para el uso del combustible. Los posibles escenarios son:
 - Se requieren cambios significativos
 - Se requieren modificaciones específicas
 - No se requieren modificaciones
- **Espacio requerido:** Criterio que evalúa el espacio necesario para la instalación del sistema de almacenamiento y de tuberías del combustible.
- **Normativa:** Criterio que evalúa el cumplimiento de la normativa vigente respecto al uso de combustibles.

De acuerdo con los criterios mencionados anteriormente, se realiza la evaluación de alternativas al Diesel, los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6
Comparación de alternativas al Diesel

Criterio Técnico	Combustible actual	Combustibles propuestos		
	Diesel	GLP	Gas Natural	Residual 500
Consumo	11 276.9 $\frac{Gln}{mes}$	16 957.84 $\frac{Gln}{mes}$	11 074 476 $\frac{Gln}{mes}$	10 571.84 $\frac{Gln}{mes}$
Eficiencia	Alta	Alta	Muy alta	Media
Disponibilidad	Alta	Media	Limitada	No disponible
Emisiones contaminantes SO ₂	Alta 3.69 $\frac{kg}{mes}$	Media -----	Baja -----	Muy alta 27.45 $\frac{kg}{mes}$
Compatibilidad con la caldera existente	Compatible	Requiere adaptación moderada	Requiere adaptación moderada	Requiere alta adaptación
Normativa	Cumple	Cumple	No cumple	Cumple
Espacio requerido	Moderado	Moderado	Moderado	Alto

Nota. El valor de la emisión de contaminantes para el Residual 500 se calculó en base a los factores de emisión mostrados por Economopulus (2002)

Los resultados se determinaron a partir de datos proporcionados por la entidad estudiada y cálculos realizados a partir de los mismos, estos se determinaron a través del procedimiento descrito en la memoria de cálculo del presente estudio y en estimaciones basadas en el mercado y la realidad local; además se consideró la normativa que regula a cada uno de los combustibles siendo: El Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos (Decreto Supremo N.º 052-93-EM) establece requisitos técnicos, como el diseño de tanques para recipientes a presión aplicado al GLP y otros combustibles; las disposiciones para instalaciones de gas natural están contempladas en la Ley de Hidrocarburos (Ley N.º 26221) y sus reglamentos específicos, para el Diésel y el Residual 500 el Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos (Decreto Supremo N.º 045-2005-EM) y respecto a las emisiones de contaminantes están reguladas por la Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611) y los límites máximos permisibles establecidos por el MINAM.

De acuerdo con la Tabla 6, se realizó la evaluación de las alternativas basado en el método de decisiones con múltiples objetivos de Keeney y Raiffa (1993), para ello se asignaron puntajes del 1 al 3 respecto a cada criterio, tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7
Criterios de Puntuación de alternativas

Criterio	1: Desempeño Bajo	2: Desempeño Medio	3: Desempeño Alto
Consumo	Alto consumo de combustible	Consumo moderado	Bajo consumo de combustible
Eficiencia	Baja eficiencia en la operación	Eficiencia media	Alta eficiencia en la operación
Disponibilidad	Poca disponibilidad en el mercado o en infraestructura	Disponibilidad moderada	Alta disponibilidad en el mercado
Emisiones	Emite altos niveles de contaminantes	Emite niveles moderados de contaminantes	Emite bajos niveles de contaminantes
Compatibilidad	Bajo grado de compatibilidad con equipos y sistemas existentes	Compatibilidad aceptable	Alta compatibilidad con equipos y sistemas existentes
Normativa	Incumple en gran medida la normativa vigente	Cumple parcialmente con la normativa	Cumple de manera completa y óptima la normativa vigente
Espacio Requerido	Requiere espacio excesivo para su instalación o uso	Requiere un espacio moderado	Requiere poco espacio, favoreciendo su instalación

Nota. Los criterios fueron establecidos considerando la metodología de Keeney y Raiffa (1993)

La suma de los puntajes obtenidos para cada alternativa en base a los criterios se muestran la Tabla 8.

Tabla 8
Valoración de alternativas

	Consumo	Eficiencia	Disponibilidad	Emisiones	Compatibilidad	Normativa	Espacio Requerido	Total
Diesel	3	2	3	1	3	3	2	17
GLP	3	2	2	3	2	3	2	17
Gas Natural	1	3	1	3	2	1	1	12
Residual 500	3	1	1	1	1	3	1	11

Los puntajes totales que se muestran en la Tabla 8, se valoraron de acuerdo con el siguiente criterio que se determinó a través de un proceso de baremación para tres niveles de viabilidad (ver Tabla 9).

Tabla 9*Criterio de valoración de viabilidad de alternativas*

Valoración	Puntaje
Alternativa Excluida	7 a 12
Alternativa Incluida con modificaciones significativas	13 a 15
Alternativa Incluida	16 a 21

Los resultados de la valoración se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10*Valoración de viabilidad de alternativas*

	Total	Viabilidad
Diesel	17	Alternativa Incluida
GLP	17	Alternativa Incluida
Gas Natural	12	Alternativa Excluida
Residual 500	11	Alternativa excluida

De acuerdo con la Tabla 10, se realiza la valoración de viabilidad:

- GLP: El Gas Licuado de Petróleo (GLP) se presenta como una alternativa viable al diésel; su implementación implicaría ajustes técnicos en el sistema de las calderas, pero estos cambios son manejables en comparación con otras alternativas y aunque el GLP requiere adaptaciones técnicas como el cambio de quemadores, su adopción se valora como factible desde el punto de vista técnico y económico, siendo considerada como una opción viable.
- Gas Natural (GNC o GNL): Se plantea como una opción pero se descarta debido a que su instalación presenta dificultades normativas, ya que el Decreto Supremo N° 057-2008-EM, en su Artículo 6, exige contar con un patio de maniobras exclusivo para la carga y descarga del combustible, condición que el Hospital Adolfo Guevara Velasco no puede cumplir por falta de espacio en el área de ingeniería; además, requiere cambios significativos en el sistema de combustión de las calderas, como la sustitución del quemador, así mismo, requiere un espacio significativo para el almacenamiento y para la planta de regasificación o descompresión que es necesaria para el uso del mismo.
- Respecto al Petróleo Industrial 500 presenta obstáculos similares, para su almacenamiento se requeriría instalar nuevos sistemas de calefacción para los tanques y tuberías, cambios que demandarían importantes modificaciones arquitectónicas en el área de ingeniería y el área propia del hospital.

- La dirección del hospital ha manifestado su negativa a realizar alteraciones estructurales significativas en sus instalaciones, lo que imposibilita considerar esta alternativa; además, no se cuenta con proveedores que cubran su demanda en el Cusco.

En consecuencia, se opta como alternativa al Diesel el GLP para el presente proyecto, ya que cuenta con todas las facilidades requeridas para su instalación y cumple con los criterios técnicos evaluados.

Posteriormente, se procede a realizar el balance de materia y energía para el proceso correspondiente al Diesel y el GLP.

3.4.2. Cálculo de balance de materia para DIESEL

Para realizar el balance de materia para el Diesel, es necesario realizar el cálculo del calor absorbido por el agua.

Cálculo de calor absorbido por el agua

Para el cálculo del calor absorbido por el agua, se toma en cuenta que de acuerdo con el Reporte anual estadístico de EsSalud (2024), la temperatura de entrada de agua líquida es de 12 °C y la temperatura de salida de vapor de 170 °C, para el cálculo se usa la expresión.

$$Q_a = m_v * (H_2 - H_1) \quad (1)$$

Nota. NTP 350.300 (2008)

Donde:

- Q_a : Calor absorbido por el agua (kJ/s).
- m_v : Flujo másico de vapor (kg/h).
- H_2 : Entalpía de vapor a 170 °C (kJ/kg).
- H_1 : Entalpía de agua líquida a 12 °C (kJ/kg).

Tabla 11

Parámetros de entrada

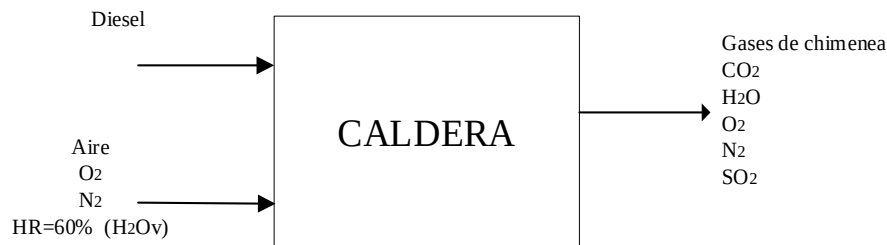
Parámetro	Valor	Unidades	Fuente
Flujo másico de vapor (mv)	1 962.29	kg/h	Reporte anual estadístico de EsSalud (2024)
Flujo másico de vapor (mv)	0.5451	kg/s	
Conversión	100%		
Calor absorbido por el agua	1 481.27	kJ/s	
Entalpía del vapor (Hv)	2 767.9	kJ/kg	(Smith, 2007)
Entalpía del agua líquida (Hl)	50.38	kJ/kg	
Poder Calorífico Superior (Diesel)	45 500	kJ/kg	(REPSOL, 2016)

Según los datos presentados en la Tabla 11, el flujo másico de vapor generado por la caldera es de 1 962.29 kg/h, equivalente a 0.5451 kg/s; se calculó que el calor absorbido por el fluido es 1 481.27 kJ/s y la entalpía del vapor producido a 170 °C es de 2 767.9 kJ/kg, mientras que la entalpía del agua

líquida a 12 °C alimentada a la caldera corresponde a 50.38 kJ/kg; además, el combustible empleado, Diesel DB5 S50, tiene un poder calorífico (PCS) de 45 500 kJ/kg, el cual fue utilizado en los balances, así mismo se procedió con los cálculos considerando diagrama de flujo mostrado en la Figura 9.

Figura 9

Diagrama de flujo de entrada y salida del balance de materia para Diesel.

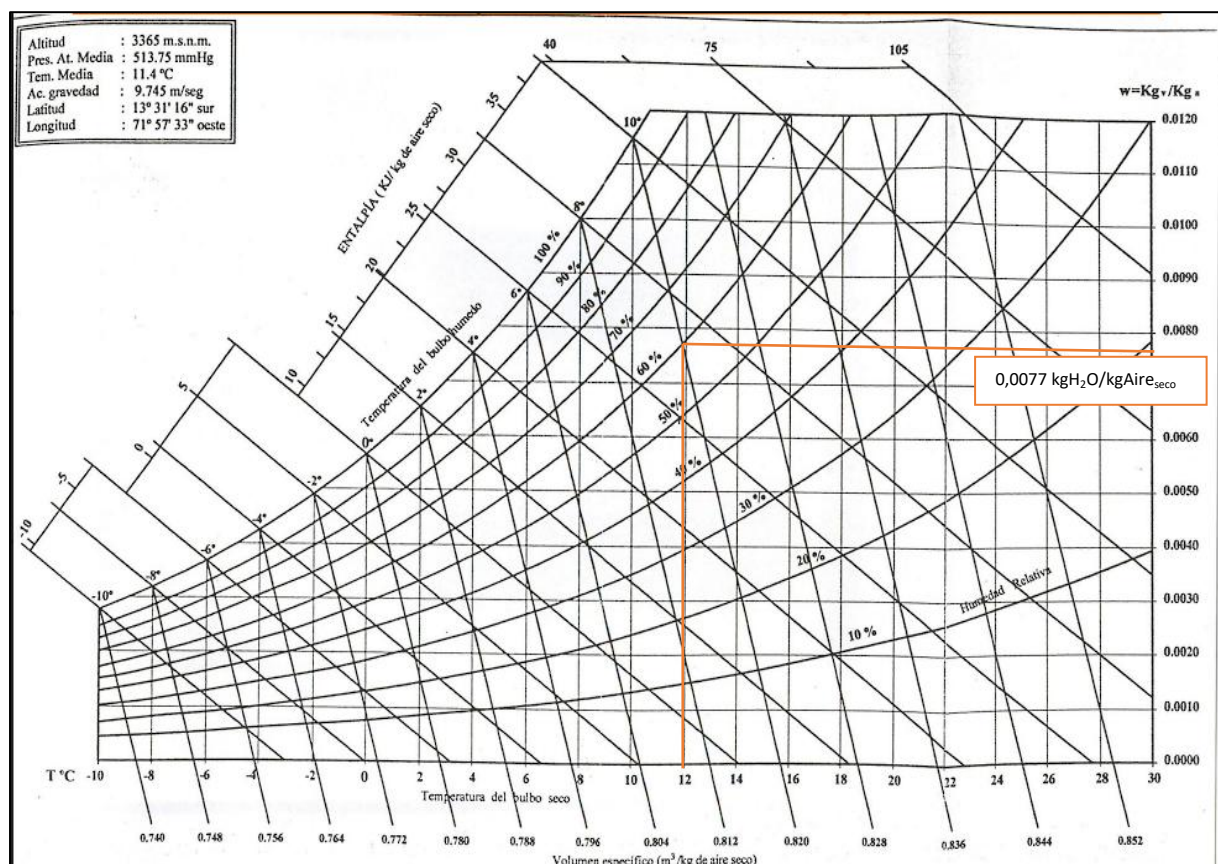


Cálculo de Humedad relativa (HR)

En el cusco, de acuerdo con MIDAGRI (2025) la temperatura promedio es de 12 °C y la humedad relativa es de 60%. Para el cálculo de flujo de agua por flujo de aire seco se usa el diagrama psicrométrico de la figura 10.

Figura 10

Diagrama de psicrométrico de Cusco



Nota. Obtenido de Catuiro (2024)

De acuerdo con lo observado, para determinar la concentración de agua en el aire a partir del diagrama psicrométrico, primero se ubica en el eje de abscisas la temperatura promedio del aire en el ambiente de la ciudad del Cusco que es de 12 °C y luego con una línea vertical se intercepta con la curva de humedad relativa que es de 60%, luego desde la intersección se proyectó una línea horizontal hacia el eje de las ordenadas donde se determina que el contenido de agua en el aire es de 0.0077 kgH₂O/kg_{aire} (ver Tabla 12).

Tabla 12

Resultados de cálculo de humedad relativa

Parámetro	Valor
Temperatura ambiente (°C)	12
Humedad relativa	60%
Kg agua/kg aire	0.0077

De acuerdo con la tabla 12, el contenido de agua en el aire que se alimenta a los calderos del Hospital Adolfo Guevara Velazco es de 0.0077 kg por cada kg de aire.

Cálculo de flujo másico de Diesel

Se determinó el flujo másico de Diesel a partir del flujo másico de vapor y usando la expresión de eficiencia del combustible que para este caso es el 85% (EsSalud, 2024).

$$n = \frac{m_v * (H_v - H_L)}{m_c * PC} \quad (2)$$

Nota. NTP 350.300 (2008)

Donde:

n: Eficiencia del Combustible (%).

m_v: Flujo másico de vapor (kg/h).

H_v: Entalpía de vapor a 170 °C.

H_L: Entalpía de líquido a 60 °C.

m_c: Flujo másico de combustible (kg/h).

PCS: Poder calorífico superior de combustible (kJ/kg).

Entonces:

$$m_c = \frac{m_v * (H_v - H_L)}{n * PCS}$$

$$m_c = \frac{0.5451 \frac{kg}{s} * (2767.9 - 50.38) \frac{kJ}{kg}}{0.85 * 45\,500 \frac{kJ}{kg}} = 0.03830 \frac{kg}{s} = 38.30 \frac{g}{s}$$

Por lo que el flujo de Diesel que ingresa a la caldera para generar 0.5451 kg/s de vapor es de 38.30 g/s.

Cálculo de masa de carbono e hidrogeno

Respecto al Diesel, se usa la composición típica de este para los cálculos en el presente estudio debido a la mayor representatividad de este en aplicaciones industriales y su uso como referencia estándar en equipos de combustión, así mismo, existe proximidad entre ambas composiciones (Diesel y Biodiesel) y esto se debe a que en el biodiesel, a pesar de contener oxígeno se mantiene una estructura hidrocarbonada similar, lo que permite aproximaciones válidas en modelamientos termodinámicos y análisis de combustión (Huber et al., 2007).

La composición elemental el Diesel, de acuerdo con Ragland & Bryden (2011) es 86.125% Carbono. 13.87% Hidrogeno y 0.005% S (50 ppm de azufre). A partir de la composición elemental se determinó la masa de carbono y la masa de hidrogeno que ingresa, multiplicando el flujo masico del combustible de 41.36 g/s por la composición de cada elemento, tomando como base de cálculo (B.C.) 1 segundo.

Entonces:

$$Masa\ de\ C = 38.30\ g * 0.86125 = 32.99\ g$$

$$Masa\ de\ H = 38.30\ g * 0.1387 = 5.31\ g$$

$$Masa\ de\ S = 38.30\ g * 0.00005 = 0.0019\ g$$

Entonces se calcula partir del flujo masico, la cantidad de moles de Diesel que entran usando los pesos moleculares del carbono (12 g/mol) y de H₂ (2 g/mol):

$$Cantidad\ de\ C = \frac{32.99\ g}{12 \frac{g}{mol}} = 2.75\ moles\ de\ C$$

$$Cantidad\ de\ H_2 = \frac{5.31\ g}{2 \frac{g}{mol}} = 2.655\ moles\ de\ H_2$$

$$Cantidad\ de\ S = \frac{0.0019\ g}{32 \frac{g}{mol}} = 0.00006\ moles\ de\ S$$

Cálculo de los productos de combustión:

- **Cantidad de CO₂ generado.** - Para formar un mol de CO₂ se necesita un mol de C.



Entonces como entra 2.75 moles de C se generan 2.75 moles de CO₂.

- **Cantidad de H₂O generada.** - Para formar un mol de H₂O se necesita 1 mol de H₂.



Entonces como entra 2.655 moles de H₂ se generan 2.655 moles de H₂O.

- **Cantidad de SO₂ generado.** – Para formar un mol de SO₂ se necesita 1 mol de S.

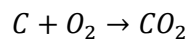


Entonces como entra 0.00006 moles de S se generan 0,00006 moles de SO₂.

Cálculo del oxígeno teórico requerido:

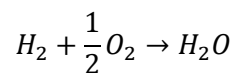
Para el cálculo de oxígeno requerido se suma el oxígeno necesario para la formación de los productos de la combustión:

- Para formar CO₂. - Para formar un mol de CO₂ es necesario 1 mol de oxígeno.



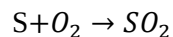
Entonces como se forman 2.75 moles de CO₂ se necesitan 2.75 moles de O₂.

- Para formar H₂O. - Para formar 1 mol H₂O se necesita 0.5 mol de O₂.



Entonces como se forman 2.655 moles de H₂O se necesitan 1.327 moles de O₂.

Para formar SO₂. – Para formar 1 mol de SO₂ se necesita 1 mol de oxígeno.



Entonces como se forman 0.00006 moles de SO₂ se necesita 0.00006 moles de oxígeno.

Cálculo de oxígeno teórico. – Es el oxígeno utilizado en las reacciones de combustión del C, H₂ y S.

$$\text{Cantidad de } O_2 \text{ teorico} = 2.75 \text{ moles} + 1.327 \text{ moles} + 0.00006 \text{ moles} = 4.077 \text{ moles } O_2 \text{ teorico}$$

Cálculo de Oxígeno total requerido. - Con un 30% de exceso de aire de acuerdo con EsSalud (2024).

$$\text{Cantidad de } O_2 \text{ total} = 4.077 \text{ moles } O_2 \text{ teorico} * 1.3 = 5.30 \text{ moles } O_2 \text{ entra}$$

Cálculo de flujo de aire seco que entra. - La composición del aire es 21% O₂ y 79% N₂

$$\text{Cantidad de aire que entra} = \frac{5.30 \text{ moles } O_2 \text{ entra}}{0.21} = 25.24 \text{ moles de aire}$$

Cálculo de N₂ que entra. - Es el 79% del aire que entra

$$\text{Cantidad } N_2 \text{ entra} = 25.24 \text{ moles de aire} * 0.79 = 19.94 \text{ moles de } N_2$$

Cálculo de la masa de aire que entra. – Es la suma de O₂ total y N₂ presente en el aire multiplicado por su peso molecular (N₂=28 g/mol, O₂=32 g/mol).

$$\text{Masa de aire que entra} = 19.94 \text{ moles} * 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 5.30 \text{ moles} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 727.92 \text{ g de aire}$$

Cálculo de masa agua proveniente de la humedad relativa del aire (60%)

$$\text{Masa de agua en el aire} = 0.0077 \frac{\text{g de agua}}{\text{g de aire seco}} * 731.96 \text{ g de aire} = 5.60 \text{ g de } H_2O$$

Cálculo de moles de H₂O proveniente de la humedad relativa del aire (60%)

$$\text{Cantidad de agua en el aire} = \frac{5.60 \text{ g de } H_2O}{18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0.31 \text{ moles de } H_2O$$

Cálculo de O₂ en los productos. – En los productos está presente el O₂ en exceso que es la diferencia entre O₂ total y el O₂ teórico.

$$\text{Cantidad } O_2 \text{ que sale} = 5.30 \text{ moles de } O_2 \text{ total} - 4.077 \text{ moles de } O_2 \text{ teorico} = 1.223 \text{ moles de } O_2 \text{ que sale}$$

Cálculo de agua total en los productos. - Es la suma del agua formada en la combustión con el agua que ingresa con el aire a causa de la humedad relativa.

$$\text{Cantidad de agua total en los productos} = 2.655 \text{ moles } H_2O \text{ de la combustión} + 0.31 \text{ moles de } H_2O \text{ contenido en el aire}$$

$$\text{Cantidad de agua total en los productos} = 2.965 \text{ moles de } H_2O$$

Finalmente se determinaron las entradas y salidas del sistema a través del producto entre el peso molecular y las cantidades de los componentes resultando los valores que se muestran en la Tabla 13.

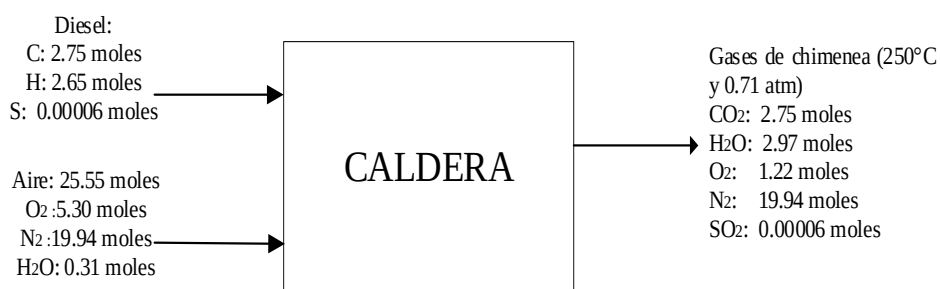
Tabla 13
Resultados de balance de materia molar del Diesel

Balance de materia (B.C. 1 segundo)							
	PM (g/mol)	Combustible que ingresa		Aire que ingresa		Gases de chimenea (Salidas)	
		g	mol	mol	g	mol	g
C	12	32.99	2.75				
H ₂	2	5.31	2.655				
S	32	0.0019	0.00006				
N ₂	28			19.94	558.32	19.94	558.32
O ₂	32			5.30	169.6	1.22	39.04
CO ₂	44					2.75	121
H ₂ O	18			0.31	5.60	2.97	53.46
SO ₂	64					0.00006	0.0038
Total		38.30	5.405	25.55	733.5	26.88	771.82

El balance de materia muestra que el combustible que ingresa a la caldera contiene carbono (32.99 g), hidrógeno (5.31 g) y azufre (0.0019 g) los cuales reaccionan con el oxígeno proveniente del aire (169.6 g O₂), acompañado de nitrógeno (558.32 g N₂) y como resultado de la combustión, se generan productos gaseosos como dióxido de carbono (121 g CO₂), vapor de agua (53.46 g H₂O), dióxido de azufre (0.0038 g) y oxígeno no reaccionado (39.04 g O₂), mientras que el nitrógeno permanece sin cambios. En la figura 11 se muestra el diagrama de entrada – salida para el balance de materia del Diesel.

Figura 11

Diagrama de entrada – salida del balance de materia de Diesel en la caldera (BC:1 segundo)



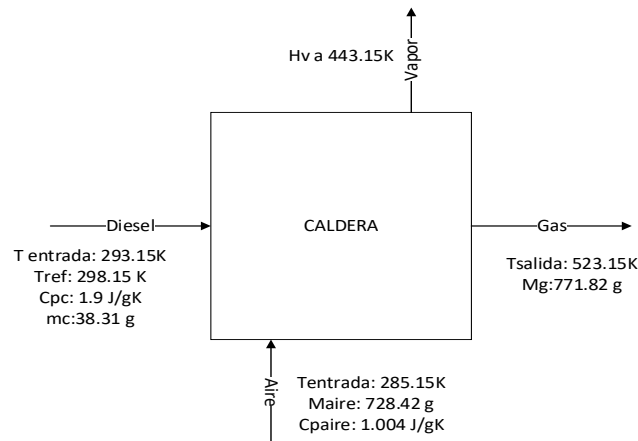
La Figura 11 presenta el balance de materia de una caldera que opera con diésel durante un segundo; en la entrada, se suministran 25.55 moles de aire, distribuidos en 5.30 moles de O₂, 19.94 moles de N₂ y 0.31 moles de H₂O, además del combustible diésel compuesto por 2.75 moles de carbono, 2.65 moles de hidrógeno y 0.00006 moles de azufre en porcentaje en peso; en la salida, los gases de chimenea a 250 °C y 0.71 atm contienen principalmente 2.75 moles de CO₂, 2.97 moles de H₂O, 1.22 moles de O₂, 19.94 moles de N₂ y 0.00006 moles de SO₂; cabe resaltar que la heterogeneidad de unidades (moles frente a porcentaje en peso) se justifica porque el diésel es una mezcla líquida compleja que requiere caracterización elemental en porcentaje másico, mientras que los productos y reactivos gaseosos se expresan convenientemente en moles para facilitar el análisis estequiométrico de la combustión.

3.4.3. Cálculo de balance de energía para DIESEL

El balance de energía de Diesel en la caldera se realizó tomando en cuenta los resultados del balance de materia como datos de entrada; además, se consideró una temperatura de referencia de 25 °C para realizar los cálculos (ver Figura 12).

Figura 12

Diagrama de balance de energía de Diesel en la caldera (BC: 1segundo)



Ecuación de balance de energía

$$\sum E_{\text{entra}} = \sum E_{\text{sale}} + Q_{\text{perdidas}} \quad (6)$$

$$Q_{\text{Combustible}} + Q_{\text{Aire}} + \Delta Q_C = Q_{\text{Perdidas}} + \Delta H_{\text{Gas}} + \Delta H_{\text{vapor}}$$

Donde:

$Q_{\text{Combustible}}$: Calor sensible del combustible (J/s).

Q_{Aire} : Calor sensible del aire (J/s).

ΔQ_C : Energía entregada por el combustible (J/s).

Q_{Perdidas} : Perdidas (J/s).

ΔH_{Gas} : Calor transferido a los gases de chimenea (J/s).

ΔH_{vapor} : Calor absorbido por el agua (J/s).

Cálculo de $Q_{\text{Combustible}}$ - Calentamiento de combustible hasta 25°C

Es el calor sensible del calentamiento del Diesel que entra a 20 °C hasta la temperatura de referencia (25 °C) y se calcula a través de la expresión:

$$Q_{\text{Combustible}} = \Delta H_{\text{Combustible}} = m_c \int_{293.15}^{298.15} C_{pc} dT \quad (7)$$

Donde:

m_c = Flujo masico de combustible (g/s).

C_{pc} : Capacidad calorífica específica del Diesel (J/gK).

En la tabla 14 se muestra los resultados del $Q_{\text{Combustible}}$

Tabla 14
Resultados Cálculo de $Q_{Combustible}$

Parámetro	Valor	Unidades
m_c	38.31	g/s
C_{p_c}	1.9	J/g.K
T_{comble}	293.15	K
T_{ref}	298.15	K
$\Delta H_{Combustible}$	363.94	J/s

De acuerdo la Tabla 14, la entalpia resultante del calor sensible del combustible es de 363.94 J/s.

Calculo Q_{Aire} - Calentamiento de aire hasta 25°C

Es el calor sensible del calentamiento del aire que ingresa a 12 °C (temperatura ambiente promedio en cusco) hasta la temperatura de referencia (25 °C), se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{Aire} = \Delta H_{Aire} = m_{aire} \int_{285.15}^{298.15} C_{paire} dT \quad (8)$$

Donde:

m_{aire} = Flujo masico de aire (g/s).

C_{paire} : Capacidad calorífica específica del aire (J/g.K).

Los resultados del calor sensible del aire (Q_{Aire}) se muestran en la tabla 15.

Tabla 15
Resultados del Cálculo de Q_{Aire}

Parámetro	Valor	Unidades
m_{aire}	733.5	g/s
C_{paire}	1.004	J/g.K
T_{amb}	285.15	K
T_{ref}	298.15	K
ΔH_{Aire}	9 573.64	J/s

De acuerdo la Tabla 14 el calor sensible del aire es de 9 573.64 J/s.

Cálculo de ΔQ_C – Energía entregada por el combustible

Es el calor de combustión del combustible multiplicado por su flujo masico, se calcula con la expresión:

$$\Delta Q_C = \Delta H_{reaccion} = m_c * PCS \quad (9)$$

Donde:

m_c = Flujo masico de combustible (g/s).

PCS= Poder calorífico superior del Diesel (kJ/g).

Los resultados del calor de combustión del combustible se muestran en la tabla 16.

Tabla 16*Resultados del Cálculo de ΔQ_c*

Parámetro	Valor	Unidades
m_c	38.31	g/s
PCS	45 500	J/g
ΔQ_c	1 743 105	J/s

De acuerdo la Tabla 16 el calor de combustión del combustible es de 1 743 105 J/s.

Cálculo de ΔH_{Gas} - Calor transferido en los gases de chimenea

Es el calor contenido en los productos de la combustión al salir por la chimenea asumiendo una temperatura promedio de gases de chimenea de 250 °C (523.15 K), se calcula con la expresión:

$$\Delta H_{gas} = m_g \int_{298,15}^{T_f} C_{pg} dT \quad (10)$$

Donde:

m_g = Flujo masico de gases de chimenea (g/s).

C_{pg} : Capacidad calorífica específica de los gases de chimenea. (J/molK).

T_f : Temperatura de los gases de chimenea (K).

Las capacidades caloríficas a 250 °C (523.15 K) para cada componente de los gases generados se obtienen de tablas termodinámicas y cuyos resultados se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17*Resultados de C_p de componentes del gas de chimenea*

Componente	Constantes				C_p (J/mol,K)
	a	b	c	d	
CO ₂	22.26	5.98E-02	-3.50E-05	7.47E-09	45.04
H ₂ O	32.34	1.92E-03	1.06E-05	-3.60E-09	35.72
O ₂	25.48	1.52E-02	-7.16E-06	1.31E-09	31.66
N ₂	28.9	-1.57E-03	8.08E-06	-2.87E-09	29.88
SO ₂	25.78	5.80E-02	-3.81E-05	8.61E-09	46.90

Fuente: (Cengel, 2011)

El flujo masico y las capacidades caloríficas de los gases de chimenea se muestran en la tabla 18.

Tabla 18*Variables de los gases de chimenea.*

Compuesto	Flujo masico (g)	fracción másica	C_p (J/mol.K)	PM(g/mol)	C_p (J/g.K)
CO ₂	121	0.157	45.04	44	1.024
H ₂ O	53.46	0.069	35.72	18	1.984
O ₂	39.04	0.051	31.66	32	0.989
N ₂	558.32	0.723	29.88	28	1.067
SO ₂	0.0038	0.000005	46.90	64	0.733
Total	771.824	1			

Con los datos de la tabla 18 se calcula un C_p promedio ponderado de los gases de chimenea con la expresión:

$$C_p \text{ Promedio} = \sum C_{p_i} * x_i \quad (11)$$

Donde:

C_{p_i} : Capacidad calorífica del compuesto (J/mol.K).

x_i : Fracción másica del compuesto.

Entonces el C_p promedio de los gases de combustión es 1,119 (J/g.K).

Se calcula la ΔH_{gas} con la expresión:

Tabla 19

Resultados del Cálculo de ΔH_{Gas}

Parámetro	Valor	Unidades
m_g	771.824	g/s
C_p promedio	1.119	J/g.K
T_{ref}	298.15	K
T_{gases}	523.15	K
$\Delta H_{combustión}$	194 606.2	J/s

De acuerdo la Tabla 19 la ΔH_{Gas} resultante es de 194 606.2 J/s.

Cálculo de ΔH_{vapor} – Calor absorbido por el agua.

Es el calor que al agua que ingresa a la caldera a 12 °C necesita para convertirse en vapor y salir a 170 °C, se calcula con la expresión:

$$\Delta H_{vapor} = m_v * (H_v - H_L) \quad (12)$$

Donde:

ΔH_{vapor} : Calor absorbido por el agua (J/s).

m_v : Flujo masico de vapor (g/s).

H_v : Entalpia de vapor a 170 °C (J/s).

H_L : Entalpia de agua líquida a 12 °C (J/s).

El resultado de ΔH_{vapor} = 1 481.27 kJ/s este valor es equivalente a 1 481 509.17 J/s se muestra en la tabla 19.

Reemplazando los resultados en la ecuación de balance de energía se obtiene:

$$Q_{Combustible} + Q_{Aire} + \Delta Q_C = Q_{Perdidas} + \Delta H_{Gas} + \Delta H_{vapor}$$

$$363.85 \frac{J}{s} + 9\,573.64 \frac{J}{s} + 1\,742\,667.42 \frac{J}{s} = Q_{Perdidas} + 194\,477.1 \frac{J}{s} + 1\,481\,267.1 \frac{J}{s}$$

$$Q_{Perdidas} = 76\,860.49 \frac{J}{s} = 76.86 \frac{kJ}{s}$$

De acuerdo con el resultado se tiene pérdidas de 76.86 kJ/s, que se consumieron en calentar la estructura del caldero. Además, incluye el flujo de calor disipado al entorno perdido por los mecanismos convección y conducción.

3.4.4. Cálculo de balance de materia para GLP

En la tabla 20 se muestra los parámetros de entrada para GLP.

Tabla 20
Parámetros de entrada

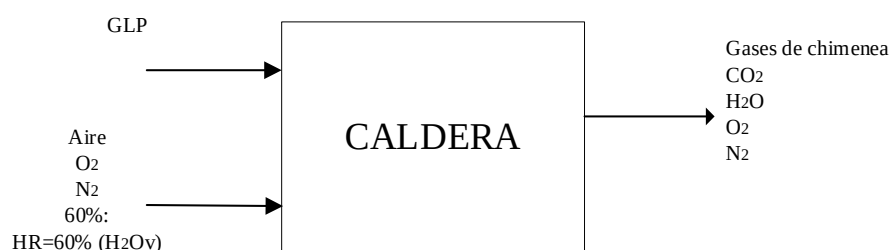
Parámetro	Valor	Unidades	Fuente
Flujo másico de vapor (mv)	1 962.29	kg/h	Reporte anual estadístico de EsSalud (2024)
Flujo másico de vapor (mv)	0.5451	kg/s	
Conversión	100%		(Smith, 2007)
Calor absorbido por el agua	1 481.27	kJ/s	
Entalpía del vapor (Hv)	2 767.9	kJ/kg	
Entalpía de agua líquida (Hl)	50.38	kJ/kg	
PCS (GLP)	49 608	kJ/kg	(NFPA 58, 2014)

Según los datos presentados en la Tabla 20, el flujo másico de vapor generado por la caldera es de 1 962.29 kg/h, equivalente a 0.5451 kg/s; se calculó que el calor absorbido por el fluido asciende a 1 481.27 kJ/s y la entalpía del vapor producido es de 2 767.9 kJ/kg, mientras que la entalpía del agua líquida alimentada a la caldera corresponde a 50.38 kJ/kg; además, para el combustible empleado, GLP, el poder calorífico superior es (PCS) de 49 608 kJ/kg, el cual fue utilizado en los balances, así mismo se procedió con los cálculos considerando el esquema mostrado en la Figura 13; por otro lado, la humedad relativa que ingresa en el aire es del 60%.

Balance Global de Materia

En la figura 13 se muestra el diagrama de entrada y salida para GLP.

Figura 13
Diagrama de entrada y salida de GLP en la caldera.



Flujo másico de GLP

Se determinó el flujo másico de GLP a partir del flujo másico de vapor y usando la expresión de eficiencia térmica del combustible que para este caso se asume el 90% de acuerdo mínimo de eficiencia de operación especificado para calderas en el artículo 12 del Código Técnico de Construcción Sostenible (CSTS) (2021):

$$m_c = 0.03318 \frac{kg}{s} = 33.18 \frac{g}{s}$$

Por lo que el flujo de GLP que ingresa a la caldera para generar 0.58 kg/s de vapor es de 33.18 g/s; así mismo se tomó en cuenta la composición de GLP que se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21
Composición del GLP

Composición del GLP		
Porcentaje volumen (%V)	C ₃ H ₈	60
	C ₄ H ₁₀	40
Porcentaje en peso (%P)	C ₃ H ₈	53
	C ₄ H ₁₀	47

Nota. (NTP 321.007, 2002)

Se determino el flujo masico de entrada de propano y butano a partir del flujo masico de entrada del GLP y sus respectivos porcentajes en peso que se muestran en la tabla 21 (B.C. 1 segundo).

$$Masa\ de\ C_3H_8 = 33.18g * 0.53 = 17.59\ g$$

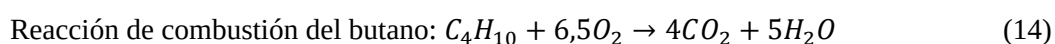
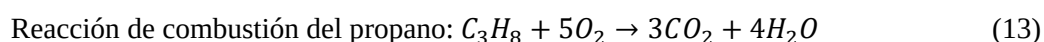
$$Masa\ de\ C_4H_{10} = 33.18g * 0.47 = 15.60\ g$$

A partir del flujo masico de entrada se calcula los moles de entrada usando los pesos moleculares del propano (44 g/mol) y del butano (58 g/mol):

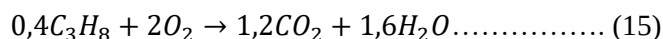
$$Cantidad\ de\ C_3H_8 = \frac{17.59\ g}{44 \frac{g}{mol}} = 0.4\ moles$$

$$Cantidad\ de\ C_4H_{10} = \frac{15.60\ g}{58 \frac{g}{mol}} = 0.27\ moles$$

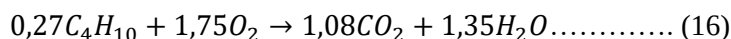
Las reacciones de combustión del GLP son:



Se observa que la cantidad de propano es 0.4 moles, este valor se introduce a la reacción de combustión de propano para obtener la ecuación que incluye el flujo molar cuya expresión es:



Se observa que la cantidad de butano es 0,27 moles, este valor se introduce a la reacción de combustión de butano para obtener la ecuación que incluye el flujo molar cuya expresión es:



Cálculo de los productos de combustión:

Es la suma de la generación de cada componente en las reacciones de combustión (15) y (16).

- Cantidad de CO₂ generado:

$$Cantidad\ de\ CO_2\ teorico = 1,2\ moles\ de\ CO_{2\ del\ propano} + 1,08\ moles\ de\ CO_{2\ del\ butano} = 2,28\ moles\ CO_2$$

- Cantidad de H₂O generada:

$$Cantidad\ de\ H_2O = 1.6\ moles\ de\ H_{2O\ del\ propano} + 1.35\ moles\ de\ H_{2O\ del\ butano}$$

$$Cantidad\ de\ H_2O = 2.95\ moles\ H_2O$$

Cálculo de O₂ teórico. - El oxígeno teórico es la suma de O₂ utilizado en las reacciones de combustión (1) y (2).

$$Cantidad\ de\ O_2\ teorico = 2\ moles\ de\ O_2\ del\ propano + 1.75\ moles\ de\ O_2\ del\ butano$$

$$Cantidad\ de\ O_2\ teorico = 3.75\ moles\ O_2$$

Cálculo de O₂ total que entra. – Es el oxígeno que entra considerando el 10% de exceso de aire (de acuerdo con la R.M.N°649-2019/MINSA, 2019)

$$Cantidad\ de\ O_2\ total = 3.75\ moles\ O_2 * 1.1 = 4.12\ moles\ O_2$$

Cálculo de flujo de aire seco que entra. - La composición del aire es 21% O₂ y 79% N₂

$$Cantidad\ de\ aire\ que\ entra = \frac{4.12\ moles\ O_2\ entra}{0.21} = 19.62\ moles\ de\ aire$$

Cálculo de N₂ que entra. - Es el 79% del aire que entra

$$Cantidad\ N_2\ entra = 19.62\ moles\ de\ aire * 0.79 = 15.50\ moles\ de\ N_2$$

Cálculo de la masa de aire que entra. – Es la suma de O₂ total y N₂ presente en el aire multiplicado por su peso molecular (N₂=28 g/mol, O₂=32 g/mol)

$$Masa\ de\ aire\ que\ entra = 15.50\ mol * 28\ \frac{g}{mol} + 4.12\ mol * 32\ \frac{g}{mol} = 727.92g\ de\ aire$$

Cálculo de agua proveniente de la humedad relativa del aire (60%)

$$\text{Masa de agua en el aire} = 0.0077 \frac{\text{g de agua}}{\text{g de aire seco}} * 568.98 \text{ g de aire} = 4.38 \text{ g de H}_2\text{O}$$

Cálculo de moles de H₂O proveniente de la humedad relativa del aire (60%)

$$\text{Cantidad de agua en el aire} = \frac{4.38 \text{ g de H}_2\text{O}}{18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0.24 \text{ moles de H}_2\text{O}$$

Cálculo de O₂ en los productos. – En los productos está presente el O₂ en exceso que es la diferencia entre O₂ total y el O₂ teórico.

$$\text{Cantidad O}_2 \text{ que sale} = 4.12 \text{ moles de O}_2 \text{ total} - 3.75 \text{ moles de O}_2 \text{ teorico}$$

$$\text{Cantidad O}_2 \text{ que sale} = 0.37 \text{ moles de O}_2 \text{ que sale}$$

Cálculo de agua total en los productos. - Es la suma del agua formada en la combustión con el agua que ingresa con el aire a causa de la humedad relativa.

$$\text{Cantidad de agua total en los productos} = 2,95 \text{ mol H}_2\text{O}_{\text{de la combustión}} + 0,24 \text{ moles de H}_2\text{O}_{\text{contenido en el aire}}$$

$$\text{Cantidad de agua total en los productos} = 3,19 \text{ moles de H}_2\text{O}$$

Finalmente se determinaron las entradas y salidas del sistema a través del producto entre el peso molecular y las cantidades de los componentes resultando los valores que se muestran en la Tabla 22.

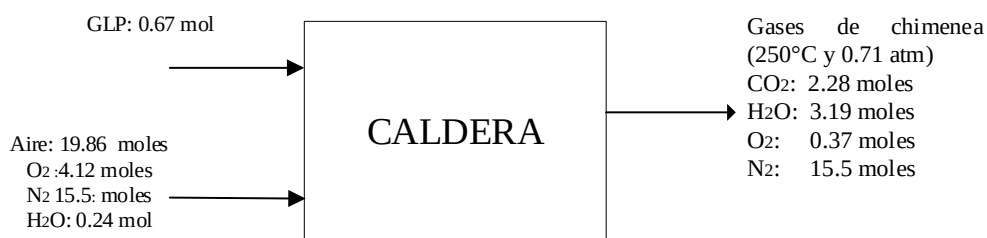
Tabla 22*Resultados de balance de materia molar del GLP*

Balance de materia (B.C. 1 segundo)							
	PM (g/mol)	Combustible que ingresa		Aire que ingresa		Gases de chimenea (Salidas)	
		g	mol	mol	g	mol	g
C ₃ H ₈	44	17.59	0.40				
C ₄ H ₁₀	58	15.60	0.27				
N ₂	28			15.5	434	15.5	434
O ₂	32			4.12	131.84	0.37	11.84
CO ₂	44					2.28	100.32
H ₂ O	18			0.24	4.32	3.19	57.42
Total		33.18	0.67	19.86	570.16	21.34	603.58

El balance de materia de los flujos másicos y molares de los componentes involucrados en el proceso de combustión del GLP; en las entradas, se tienen 33.18 g de combustible (C₃H₈ y C₄H₁₀) equivalentes a 0.67 mol, junto con 570.16 g de aire (19.86 mol), principalmente compuesto por N₂ (434.84 g, 15.5 mol) y O₂ (131.84 g, 4.12 mol); en las salidas, los gases de chimenea suman 603.58 g (21.34 mol), donde se cuenta con la presencia de N₂, CO₂, H₂O y O₂ residual.

Figura 14

Esquema desarrollado de balance de materia de GLP en la caldera (B.C. 1 segundo)



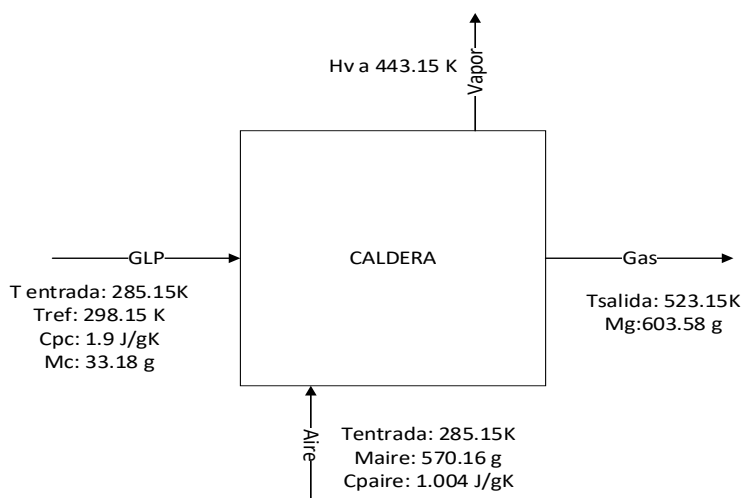
De acuerdo con los resultados obtenidos en el balance de materia, se observa en la Figura 14 que ingresan a la caldera 0.67 mol de GLP y 19.86 mol de aire. Como productos de la combustión se generan 2.28 moles de CO₂, 0.37 moles de O₂, 15.5 moles de N₂ y 3.19 moles de H₂O.

3.4.5. Cálculo de balance de energía para GLP

El balance de energía de Diesel en la caldera se realizó tomando en cuenta los resultados del balance de materia como datos de entrada; además, se consideró una temperatura de referencia de 25 °C para realizar los cálculos (ver Figura 15).

Figura 15

Diagrama de balance de energía de GLP en la caldera (BC: 1 Segundo)



Ecuación de balance de energía

$$\sum E_{entra} = \sum E_{sale} + Q_{perdidas}$$

$$Q_{Combustible} + Q_{Aire} + \Delta Q_C = Q_{Perdidas} + \Delta H_{Gas} + \Delta H_{vapor}$$

Donde:

$Q_{Combustible}$: Calor sensible del combustible (J/s).

Q_{Aire} : Calor sensible del aire (J/s).

ΔQ_C : Energía entregada por el combustible. (J/s).

Q_{Perdidas} : Perdidas (J/s).

ΔH_{Gas} : Calor transferido en los gases de chimenea (J/s).

ΔH_{vapor} : Calor absorbido por el agua (J/s).

Cálculo de $Q_{\text{Combustible}}$ - Calentamiento de combustible hasta 25°C

Es el calor sensible del calentamiento del Diesel que entra a 20 °C hasta la temperatura de referencia (25 °C) y se calcula a través de la expresión:

$$Q_{\text{Combustible}} = \Delta H_{\text{Combustible}} = m_c \int_{293.15}^{298.15} C_{pc} dT$$

Donde:

m_c = Flujo masico de combustible (g/s).

C_{pc} : Capacidad calorífica específica del GLP (J/g.K).

En la tabla 23 se muestra los resultados del $Q_{\text{Combustible}}$.

Tabla 23

Resultados Cálculo de $Q_{\text{Combustible}}$

Parámetro	Valor	Unidades
m_c	33.18	g/s
C_{pc}	1.69	J/g.K
T_{comble}	293.15	K
T_{ref}	298.15	K
$\Delta H_{\text{Combustible}}$	280.34	J/s

De acuerdo la Tabla 23, el calor sensible del combustible, resultante es de 280.34 J/s.

Calculo Q_{Aire} - Calentamiento de aire hasta 25°C

Es el calor sensible del calentamiento del aire que ingresa a 12 °C (temperatura promedio en cusco) hasta la temperatura de referencia (25 °C), se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{Aire}} = \Delta H_{\text{Aire}} = m_{\text{aire}} \int_{285.15}^{298.15} C_{\text{paire}} dT$$

Donde:

m_{aire} = Flujo masico de aire (g/s).

C_{paire} : Capacidad calorífica específica del aire (J/g.K).

Los resultados del calor sensible del aire se muestran en la tabla 24.

Tabla 24*Resultados del Cálculo de Q_{Aire}*

Parámetro	Valor	Unidades
m_{aire}	570.16	g/s
$C_{p_{aire}}$	1.004	J/g.K
T_{amb}	285.15	K
T_{ref}	298.15	K
ΔH_{Aire}	7 441.73	J/s

De acuerdo la Tabla 24 el calor sensible del aire, resultante es de 7 441.73 J/s.

Cálculo de $Q_{Combustion}$ – Energía entregada por el combustible.

Es el calor de combustión del combustible multiplicado por su flujo masico, se calcula con la expresión:

$$\Delta Q_C = \Delta H_{reaccion} = m_c * PCS \quad (17)$$

Donde:

m_c = Flujo masico de combustible (g/s).

PCS= Poder calorífico superior del GLP (J/g).

Los resultados del calor de combustión del combustible se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25*Resultados del Cálculo de $Q_{Combustion}$*

Parámetro	Valor	Unidades
m_c	33.18	g/s
PCS	49 608	J/g
ΔQ_C	1 645 852.56	J/s

De acuerdo la Tabla 25 el calor de combustión del combustible, resultante es de 1 645 852.56 J/s.

Cálculo de ΔH_{Gas} - Calor transferido en los gases de chimenea

Es el calor transferido en los productos de la combustión al salir por la chimenea asumiendo una temperatura de gases de chimenea de 250 °C (523,15 K), se calcula con la expresión:

$$\Delta H_{gas} = m_g \int_{298,15}^{T_f} C_{pg} dT$$

Donde:

m_g = Flujo masico de gases de chimenea (g/s).

C_{pg} : Capacidad calorífica específica de los gases de chimenea. (J/mol.K).

T_f : Es la temperatura de los gases de chimenea (K).

Las capacidades caloríficas a 250 °C (523.15 K) para cada componente de los gases generados se obtienen de tablas termodinámicas y cuyos resultados se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26*Resultados de Cp de componentes del gas de chimenea*

Componente	Constantes				Cp (J/mol,K)
	a	b	c	d	
CO ₂	22.26	5.98E-02	-3.50E-05	7.47E-09	45.04
H ₂ O	32.34	1.92E-03	1.06E-05	-3.60E-09	35.72
O ₂	25.48	1.52E-02	-7.16E-06	1.31E-09	31.66
N ₂	28.9	-1.57E-03	8.08E-06	-2.87E-09	29.88

Nota. (Cengel, 2011)

El flujo masico y las capacidades caloríficas de los gases de chimenea se muestran en la tabla 27.

Tabla 27*Variables de los gases de chimenea.*

Compuesto	Flujo masico	fracción másica	Cp (J/mol.K)	PM(g/mol)	Cp (J/g.K)
CO ₂	100.32	0.166	45.04	44	1.024
H ₂ O	57.42	0.095	35.72	18	1.984
O ₂	11.84	0.020	31.66	32	0.989
N ₂	434	0.719	29.88	28	1.067
Total	603.58	1			

Con los datos de la Tabla 27 se calcula un C_p promedio ponderado de los gases de chimenea con la expresión:

$$C_p \text{ Promedio} = \sum C_{p_i} * x_i \quad (18)$$

Donde:

C_p: Capacidad calorífica del compuesto (J/g.K).x_i: Fracción másica del compuesto.Entonces el C_p promedio de los gases de combustión es 1.119 J/g.K.Se calcula la ΔH_{gas} con la expresión:**Tabla 28***Resultados del Cálculo de ΔH_{Gas}*

Parámetro	Valor	Unidades
m _g	603.58	g/s
C _p promedio	1.145	J/g.K
T _{ref}	298.15	K
T _{gases}	523.15	K
$\Delta H_{combustión}$	155 578.1	J/s

De acuerdo la Tabla 28 el calor transferido en los gases de chimenea, resultante es de 155 578,1 J/s.

Cálculo de ΔH_{vapor} – Calor absorbido por el agua.

Es el calor que al agua que ingresa a la caldera a 12 °C necesita para convertirse en vapor y salir a 170 °C, se calcula con la expresión:

$$\Delta H_{vapor} = m_v * (H_v - H_L) \quad (19)$$

Donde:

ΔH_{vapor} : Calor absorbido por el agua (J/s).

m_v : Flujo masico de vapor (g/s).

H_v : Entalpia de vapor a 170 °C (J/s).

H_L : Entalpia de agua líquida a 12 °C (J/s).

El resultado de $\Delta H_{vapor} = 1481.26$ kJ/s y este valor es equivalente a 1 481 267.31 J/s.

Reemplazando los resultados en la ecuación de balance de energía se obtiene:

$$\begin{aligned} Q_{Combustible} + Q_{Aire} + \Delta Q_C &= Q_{Perdidas} + \Delta H_{Gas} + \Delta H_{vapor} \\ 280.34 \frac{J}{s} + 7\,441.73 \frac{J}{s} + 1\,645\,852.56 \frac{J}{s} &= Q_{Perdidas} + 155\,578.1 \frac{J}{s} + 1\,481\,267.31 \frac{J}{s} \\ Q_{Perdidas} &= 16\,676.4 \frac{J}{s} = 16.67 \frac{kJ}{s} \end{aligned}$$

De acuerdo con el resultado se tiene pérdidas de 16.67 kJ/s, que se consumieron en calentar la estructura del caldero. Además, incluye el flujo de calor disipado al entorno perdido por los mecanismos convección y conducción.

La comparativa de los resultados del balance de energía del Diesel y el GLP se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29

Comparativa entre resultados de balance de energía de Diesel y GLP

Parámetro	Energía de combustión (J/s)	Flujo de aire (g/s)	Flujo de combustible (g/s)	Perdidas de energía (kJ/s)
Diesel	1 743 105	570.16	38.30	76.86
GLP	1 645 853	733.5	33.18	16.67

3.4.6. Almacenamiento de GLP

El diseño del sistema de almacenamiento de GLP se realizó considerando el poder calorífico de los combustibles, además el hospital cuenta con 3 calderas de las cuales solo 2 están habilitadas para operar y una se encuentra fuera de servicio, para realizar el cálculo se usó los datos de una sola caldera ya que la segunda habilitada se usa cuando la otra entra en mantenimiento o presenta alguna falla.

En la tabla 30 se muestra el poder calorífico superior del GLP en diferentes unidades.

Tabla 30

Poder calorífico Superior del Propano y Butano

Parámetro	GLP (60/40)	Unidades
Poder calorífico	94 447.25	BTU/Gln
	49 608	kJ/kg

Nota. (NFPA 58, 2014)

3.4.7. Cálculo de capacidad de vaporización natural en tanques GLP

Para el cálculo de la capacidad de vaporización natural en tanques de GLP se sugiere usar formulas empíricas que son proporcionadas por empresas que comercializan productos relacionados al GLP como REGO, CEPSA y REPSOL; una de las expresiones más usadas es aquella que relaciona la longitud del tanque, el diámetro y un factor de corrección de temperatura.

$$C_v = (f_t * L_t * D_t) * K \quad (\text{REGO, 2024}) \quad (20)$$

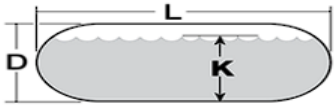
Donde:

- C_v : Capacidad de vaporización (BTU/h).
- f_t : Factor de corrección de la temperatura.
- L_t : Longitud de tanque (in).
- D_t : Diámetro de tanque (in).
- K : Constante para porcentaje de llenado del tanque.

Si bien se conocen los datos de las dimensiones del tanque de acuerdo con las especificaciones del fabricante TATSA, se deben también conocer los valores del factor de corrección de temperatura, además también se requiere conocer los valores de la constante para porcentaje de volumen en líquido en el recipiente; los valores de dichos parámetros se encuentran en las especificaciones de fabricante de empresas como REGO que se muestran en la Figura 16.

Figura 16

Valores de constante para porcentaje de llenado del tanque



Donde
D = Diámetro exterior en pulgadas
L = Largo total en pulgadas
K = Constante para porcentaje de volumen de líquido en el recipiente

Porcentaje del recipiente lleno	K es igual a	Capacidad de vaporización a 0 °F (En BTU/hora)
60	100	D X L X 100
50	90	D X L X 90
40	80	D X L X 80
30	70	D X L X 70
20	60	D X L X 60
10	45	D X L X 45

Nota. Extraído de REGO (2019)

De acuerdo con la figura 16, los valores de la constante para porcentaje de volumen de líquido en el recipiente varían de manera inversa respecto a los porcentajes de llenado del tanque.

Para ajustar los cálculos de capacidad de vaporización, se utiliza un factor de corrección por temperatura (k), como se muestra en la Tabla 31. Este factor permite adaptar los valores calculados a las condiciones reales del entorno, mejorando la precisión y confiabilidad del diseño o análisis del sistema.

Tabla 31
Factores de corrección por temperatura

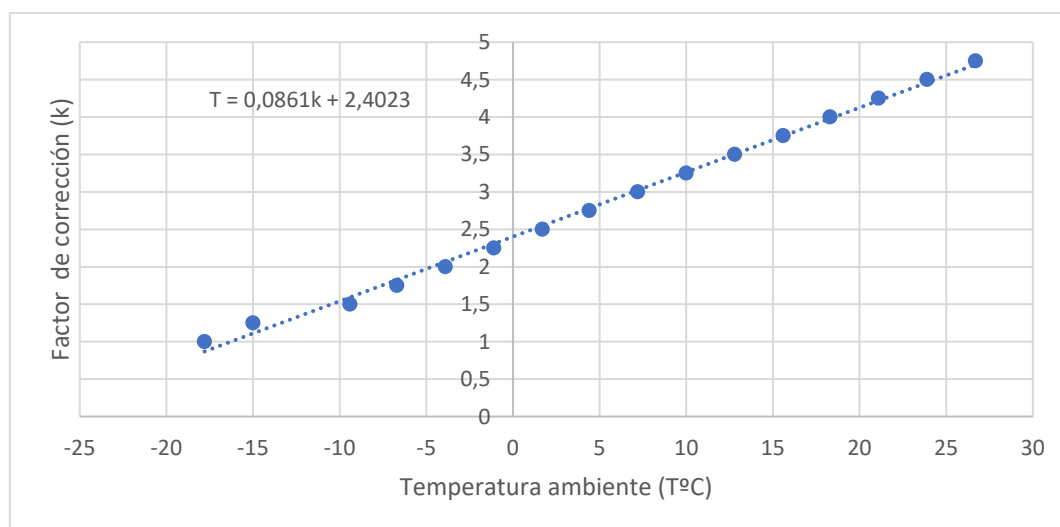
Temperatura ambiente (°C)	Factor de corrección (k)
-17.8	1
-15.0	1.25
-9.4	1.5
-6.7	1.75
-3.9	2
-1.1	2.25
1.7	2.5
4.4	2.75
7.2	3
10.0	3.25
12.8	3.5
15.6	3.75
18.3	4
21.1	4.25
23.9	4.5
26.7	4.75

Nota. Extraído de REGO (2019)

Con los datos mostrados en la Tabla 31, es posible realizar el procedimiento de interpolación ya que los datos guardan una relación lineal, tal como se muestra en la figura 17.

Figura 17

Gráfico de dispersión temperatura ambiente (T °C) vs Factor de corrección



Por lo que realizando la interpolación se obtienen los valores de factores de corrección para un rango de temperaturas ambientales propias de la ciudad del Cusco, tal como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32

Factores de corrección por temperatura ambiental de la ciudad del Cusco

Temperatura ambiente (°C)	Factor de corrección
5	2.80
10	3.25
15	3.70
20	4.15

A partir de los valores mostrados en la Tabla 32, es posible calcular la capacidad de vaporización a diferentes temperaturas para diferentes capacidades del tanque, tomando en cuenta que para tanques soterrados se usa un factor de castigo de 55% de la vaporización de un tanque aéreo.

En la tabla 33 se muestra las dimensiones de un tanque de 1 000 Gln.

Tabla 33

Dimensiones de tanque de 1 000 Gln

Parámetro	Magnitud	Unidad
Largo	4.85	m
Diámetro	1.04	m
Largo	190.9	in
Diámetro	40.94	in

De acuerdo con la Tabla 33, el tanque de 1 000 Gln presenta un largo de 4.85 m y un diámetro de 1.04 m. Los resultados de capacidad de vaporización de un tanque de 1 000 Gln se muestran en la tabla 34.

Tabla 34*Valores de capacidad de vaporización (BTU/h) para tanque de 1 000 Gln*

%Vol liquido	Factor K	Temperatura °C			
		5	10	15	20
60	100	1 205 542.23	1 397 507.55	1 589 472.88	1 785 277.51
50	90	1 084 988.01	1 257 756.80	1 430 525.59	1 606 749.76
40	80	964 433.78	1 118 006.04	1 271 578.30	1 428 222.01
30	70	843 879.56	978 255.29	1 112 631.01	1 249 694.26
20	60	723 325.34	838 504.53	953 683.73	1 071 166.50
10	45	542 494.00	628 878.40	715 262.79	803 374.88

Se observa en la Tabla 34, los valores de capacidad de vaporización en BTU/h en un tanque de 1 000 Gln para diferentes valores de llenado y distintos valores de temperatura.

En la tabla 35 se muestra las dimensiones de un tanque de 5 200 Gln.

Tabla 35*Dimensiones de tanque de 5 200 Gln*

Parámetro	Magnitud	Unidad
Largo	5.89	m
Diámetro	2.23	m
Largo	231.88	in
Diámetro	87.79	in

De acuerdo con la Tabla 35, el tanque de 5 200 Gln presenta un largo de 5.89 m y un diámetro de 2.23 m.

Los resultados de capacidad de vaporización de un tanque de 5 200 Gln se muestran en la tabla 36.

Tabla 36*Valores de vaporización (BTU/h) para tanque de 5 200 Gln*

%Vol liquido	Factor K	Temperatura °C			
		5	10	15	20
60	100	3139261.61	3639144.03	4139026.45	4648906.52
50	90	2825335.45	3275229.62	3725123.80	4184015.87
40	80	2511409.28	2911315.22	3311221.16	3719125.21
30	70	2197483.12	2547400.82	2897318.51	3254234.56
20	60	1883556.96	2183486.42	2483415.87	2789343.91
10	45	1412667.72	1637614.81	1862561.90	2092007.93

Se observa en la Tabla 36, los valores de capacidad de vaporización en BTU/h en un tanque de 5 200 Gln para diferentes valores de llenado y distintos valores de temperatura.

En la tabla 37 se muestra las dimensiones de un tanque de 10 000 Gln.

Tabla 37*Dimensiones de tanque de 10 000 Gln*

Parámetro	Magnitud	Unidad
Largo	11.2	m
Diámetro	2.14	m
Largo	440.94	in
Diámetro	84.25	in

De acuerdo con la Tabla 37, el tanque de 10 000 Gln presenta un largo de 11.2 m y un diámetro de 2.14 m.

Los resultados de capacidad de vaporización de un tanque de 10 000 Gln se muestran en la tabla 38.

Tabla 38*Valores de vaporización (BTU/h) para tanque de 10 000 Gln*

%Vol liquido	Factor K	Temperatura °C			
		5	10	15	20
60	100	5 728 476.64	6 640 654.45	7 552 832.26	8 483 253.63
50	90	5 155 628.98	5 976 589.01	6 797 549.04	7 634 928.27
40	80	4 582 781.31	5 312 523.56	6 042 265.81	6 786 602.90
30	70	4 009 933.65	4 648 458.12	5 286 982.58	5 938 277.54
20	60	3 437 085.99	3 984 392.67	4 531 699.36	5 089 952.18
10	45	2 577 814.49	2 988 294.50	3 398 774.52	3 817 464.13

Se observa en la tabla 38, los valores de capacidad de vaporización en BTU/h en un tanque de 10 000 Gln para diferentes valores de llenado y distintos valores de temperatura.

3.4.8. Dimensionamiento de sistema de almacenamiento de GLP

Para realizar los cálculos del sistema de almacenamiento, se consideraron los siguientes datos de entrada.

- Demanda total energética de los equipos (BTU/h).
- Poder calorífico superior del GLP (PCS) (60/40).
- El nivel máximo de llenado del tanque es del 85%.
- El nivel mínimo de es de 30 % para tanques soterrados.
- El nivel mínimo del tanque es de 20 % para tanques aéreos.
- Se usan las fórmulas establecidas por las empresas del sector del GLP. (REPSOL GAS , 2024).

a. Demanda teórica total de la caldera.

Según los datos proporcionados por el Hospital Adolfo Guevara Velasco el sistema de GLP suministrara a el cuarto de calderas donde se encuentran tres calderas, de las cuales, tal como se mencionó anteriormente, solo dos están operativas, y el hospital reporta que las calderas operan de manera rotativa, siendo las calderas de la misma potencia en este caso de 500 BHP y operando solo una caldera a la vez se obtiene la demanda energética teórica a través de la conversión de BHP a BTU/h, de la siguiente manera:

$$Demanda\ energetica_{teorica} = 500\ BHP * \frac{33\ 475\ \frac{BTU}{h}}{1\ BHP} = 16\ 737\ 500\ \frac{BTU}{h}$$

Por lo que, de acuerdo con el resultado, la demanda energética de los equipos será de 16 737 500 BTU/h.

b. Demanda real total de la caldera.

Esta demanda hace referencia a la demanda energética de GLP que es necesario para poder generar los 529 818.3 kg/mes de vapor, esta se determina a través de la siguiente expresión:

$$Demanda\ energetica_{real} = Flujo\ Diesel\left(\frac{Gln}{mes}\right) * PCS\left(\frac{BTU}{Gln}\right) \quad (21)$$

$$\begin{aligned} Demanda\ energetica_{real} &= 11\ 277\left(\frac{Gln}{mes}\right) * 142\ 026.07\left(\frac{BTU}{Gln}\right) \\ &= 1\ 601\ 627\ 991\ \frac{BTU}{mes} = 5\ 931\ 955.52\ \frac{Btu}{h} \end{aligned}$$

La demanda energética real por la operación de la caldera (9horas al día y 30 días por mes) es de 5 931 955.52 Btu/h.

c. Caudal de consumo

Caudal de consumo total teórico

Para realizar el cálculo del caudal de consumo de combustible, en este caso del GLP es necesario valerse de su poder calorífico superior y de la demanda energética de la caldera, como se observa en la siguiente expresión:

$$D = PCS_{GLP} * Q \quad (22)$$

Donde:

D: Demanda energética (BTU/h).

PCS_{GLP}: Poder calorífico superior del GLP (BTU/Gln).

Q: Caudal de consumo (Gln/mes).

Por lo que el caudal de consumo se determina a partir de la relación entre la demanda energética que es 16 737 500 BTU/h y el poder calorífico superior del GLP, de acuerdo con la norma NFPA 58 es 94 447.25 BTU/Gln.

$$Q = \frac{16\,737\,500 \frac{BTU}{h}}{94\,447.25 \frac{BTU}{Gln}} = 177.215 \frac{gln}{h}$$

Entonces el caudal de consumo de GLP es de 177.215 Gln/h, y como la caldera opera 9 horas al día y los 30 días del mes, de acuerdo a la información proporcionada por el hospital, se obtiene el siguiente caudal teórico por mes:

$$Q = 177.215 \frac{Gln}{h} * \frac{9\,h}{1\,dia} * \frac{30\,dias}{1\,mes}$$

$$Q = 47\,848.05 \frac{Gln}{mes}$$

Por lo que el caudal de consumo teórico de GLP por mes es de 47 848 Gln/mes.

Caudal de consumo total real

Se calcula el caudal de consumo real del GLP a partir del Diesel, para lo cual sigue el proceso:

$$\text{Caudal de consumo de Diesel} = \frac{\text{Energía entregada por el Diesel}}{\text{PCS del Diesel}} \quad (23)$$

Donde:

PCS del Diesel: 142 026.069 BTU/Gln, extraído de fichas de seguridad de REPSOL GAS (2024).

En tanto el flujo de Diesel se obtiene a través del promedio aritmético de los datos proporcionados, por lo que:

$$\text{Flujo de Diesel} = 11\,277 \frac{Gln}{mes}$$

Entonces:

$$\text{Energía entregada por el Diesel B5 S50} = \text{Flujo de Diesel} * \text{PC del Diesel}$$

$$\text{Energía entregada por el Diesel B5 S50} = 11\,277 \frac{Gln}{mes} * 142\,026.07 \frac{BTU}{Gln}$$

$$\text{Energía entregada por el Diesel B5 S50} = 1\,601\,619\,108.9 \frac{BTU}{mes}$$

$$\text{Flujo de GLP} = \frac{\text{Energía entregada por el Diesel}}{\text{PCS del GLP}} \quad (24)$$

$$\text{Flujo de GLP} = \frac{1\,601\,619\,108.9 \frac{\text{BTU}}{\text{mes}}}{94\,447.25 \frac{\text{BTU}}{\text{Gln}}} = 16\,957.8 \frac{\text{gln}}{\text{mes}} = 62.80 \text{ Gln/hr}$$

3.4.9. Autonomía de tanque

Para realizar el cálculo de la autonomía del tanque, es decir lo días que el tanque podrá alimentar la caldera hasta su reabastecimiento, es necesario conocer la densidad de la mezcla GLP en fase líquida, en este caso en proporción 60% propano y 40% butano, a continuación, se muestra la densidad de los componentes de acuerdo a la norma NFPA 58. En la tabla 38 se muestra la densidad de los componentes de GLP.

Tabla 39

Densidad de componentes de GLP

Parámetro	Magnitud	Unidades
Densidad propano	504	kg/m ³
Densidad de butano	582	kg/m ³
Temperatura	15.56	°C

Fuente: (NFPA 58, 2014)

Por lo que es posible determinar la densidad promedio de la mezcla de GLP considerando la proporción de componentes en la mezcla, 60% de propano y 40% de butano, a través de la siguiente expresión.

$$\rho_{GLP} = \rho_{propano} * 0.6 + \rho_{butano} * 0.4 \quad (25)$$

$$\rho_{GLP} = 504 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.6 + 582 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.4$$

$$\rho_{GLP} = 535.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

De acuerdo al resultado, la densidad de la mezcla es de 535.2 kg/m³, este valor es útil para determinar la autonomía del tanque a través de la siguiente expresión.

$$d = \frac{\rho_l * C_u * V_T}{G_T} \quad (26)$$

Donde:

d: autonomía del tanque en días.

V_T: Volumen total geométrico del depósito (m³).

ρ_{GLP}: Densidad del GLP (60/40) en fase líquida o GLP (kg/m³).

Cu: Capacidad útil del depósito en % (55%).

G_T : Gasto o consumo diario máximo de la instalación (kg).

Los resultados del cálculo de autonomía de tanques de diferentes capacidades se muestran en la tabla 40.

Tabla 40

Resultados de autonomía de un tanque de diferentes capacidades

	1 000 Gln	5 200 Gln	10 000 Gln
Volumen total (m ³)	3.78	19.68	37.85
Densidad de GLP (kg/m ³)	535.2	535.2	535.2
Capacidad útil (%)	55	55	55
Consumo diario (kg/día)	1 135	1 135	1 135
Autonomía (días)	0.98	5.10	9.81

De acuerdo con la Tabla 40, la autonomía de los tanques varía de manera directa de acuerdo a su capacidad, siendo el de mayor autonomía el tanque de capacidad de 10000 Gln; se debe tener en cuenta que los cálculos realizados anteriormente se basaron en la demanda real de GLP.

3.4.10. Selección de tanque de almacenamiento de GLP

Como se puede observar la demanda real es decir la calculada a partir del consumo del combustible usado actualmente es mucho menor a la demanda teórica calculada a partir de la potencia de la caldera, en este caso la caldera, esto indica que gran parte de la potencia de la caldera no está siendo usada.

El diseño de almacenamiento se realizó considerando ambas situaciones de la demanda energética, siendo el caudal de consumo teórico a partir de la potencia de los equipos igual a 47848.05 Gln/mes y el caudal de consumo real igual a 16 957,8 Gln/mes; además de acuerdo con los requerimientos del hospital se seleccionará un tanque soterrado debido a que la instalación se hará en un hospital y este presenta mayor seguridad, además al ser soterrado tendrá una variación de temperatura más constante.

Finalmente, para la selección del tanque de almacenamiento se toman en cuenta criterios como:

- Caudal de vaporización al 30%, ya que se seleccionan tanques soterrados (REGO, 2024).
- Autonomía del tanque recomendable, superior a los 15 días (REPSOL GAS , 2024).
- Vaporización se considera 10 °C, ello debido a que la temperatura ambiental promedio del Cusco es de 12 °C y por el soterramiento se toma una temperatura inferior.

3.4.11. Análisis de tanques de GLP

a) Análisis de tanque de 10 000 Gln:

Para la evaluación de la cantidad de tanques se considera el 30 % como condición mínima de llenado y una temperatura de 10 °C ya que se escogió un tanque soterrado, por lo que se necesitarían 2 tanques para satisfacer la demanda real de 5 931 955.52 BTU/h; esta alternativa satisface las necesidades usando 2 tanques ya que entregaría 9 263 274 BTU/h y cumple con la normativa NTP 321.123; sin embargo la instalación y el transporte de estos tanques es muy costoso debido a sus dimensiones, por lo que se descarta esta alternativa.

En caso de la autonomía del tanque, se observa en la Tabla 40, que es de 9.81 días por tanque, por lo que con los 2 tanques se obtienen aproximadamente 19 días de autonomía.

b) Análisis de tanque de 5 200 Gln

En tanto si se consideran tanques de 5 200 Gln para un volumen del 30 % y una temperatura de 10 °C (soterrado), la capacidad de vaporización de cada tanque es de 2 547 401 BTU/h, por lo que el número de tanques necesario sería de 4 tanques y con una vaporización natural de 10 189 604 BTU/h con lo cual se satisface la necesidad energética teórica, para cumplir con la normativa NTP 321.123 y sumado a esto los tanques tiene un menor tamaño por lo cual el transporte es factible es por eso que se considera esta la opción más viable.

En caso de la autonomía del tanque, se observa en la Tabla 39, que es de 5.10 días por tanque, por lo que con los 4 tanques se obtienen aproximadamente 20 días de autonomía y como se recomienda tener una autonomía mínima de 15 días de operación con los 4 tanques esta autonomía sería suficiente.

Se presenta la comparativa del requerimiento de tanques para las alternativas con Diesel y con GLP en la Tabla 41.

Tabla 41

Comparativa entre alternativas respecto a requerimiento de tanques

Parámetro	Tamaño de Tanque (Gln)	
	10 000	5 200
Número de Tanques	2	4
Autonomía (días)	20	20
Largo de Tanque (m)	11.2	5.89
Observación	No es viable	Viable

En la tabla 42 se muestra el dimensionamiento de los tanques:

Tabla 42

Dimensionamiento tanque de 5200 Gln con demanda real

Parámetro	Valor
N° tanques	4
Vol total (Gln)	20 800
Vol total (m ³)	78.737
capacidad útil del tanque (%)	55
Densidad GLP (BTU/gal)	535,2
Consumo diario (kg/día)	1 135.43
Autonomía (días)	20.61

Como se muestra, con el uso de la demanda energética real se obtiene una autonomía de 20 días y esto usando solo la vaporización natural del tanque es así que esta es la opción que se elige para el presente proyecto; además se muestra el plano de los tanques de GLP en la Figura 18.

3.4.12. Sistema de redes de GLP

El sistema que se propone se realizó en base a las especificaciones de los reglamentos y normas específicas correspondientes a la NTP 321.123, NTP 321.121, NTP 321.120 y NFPA 58.

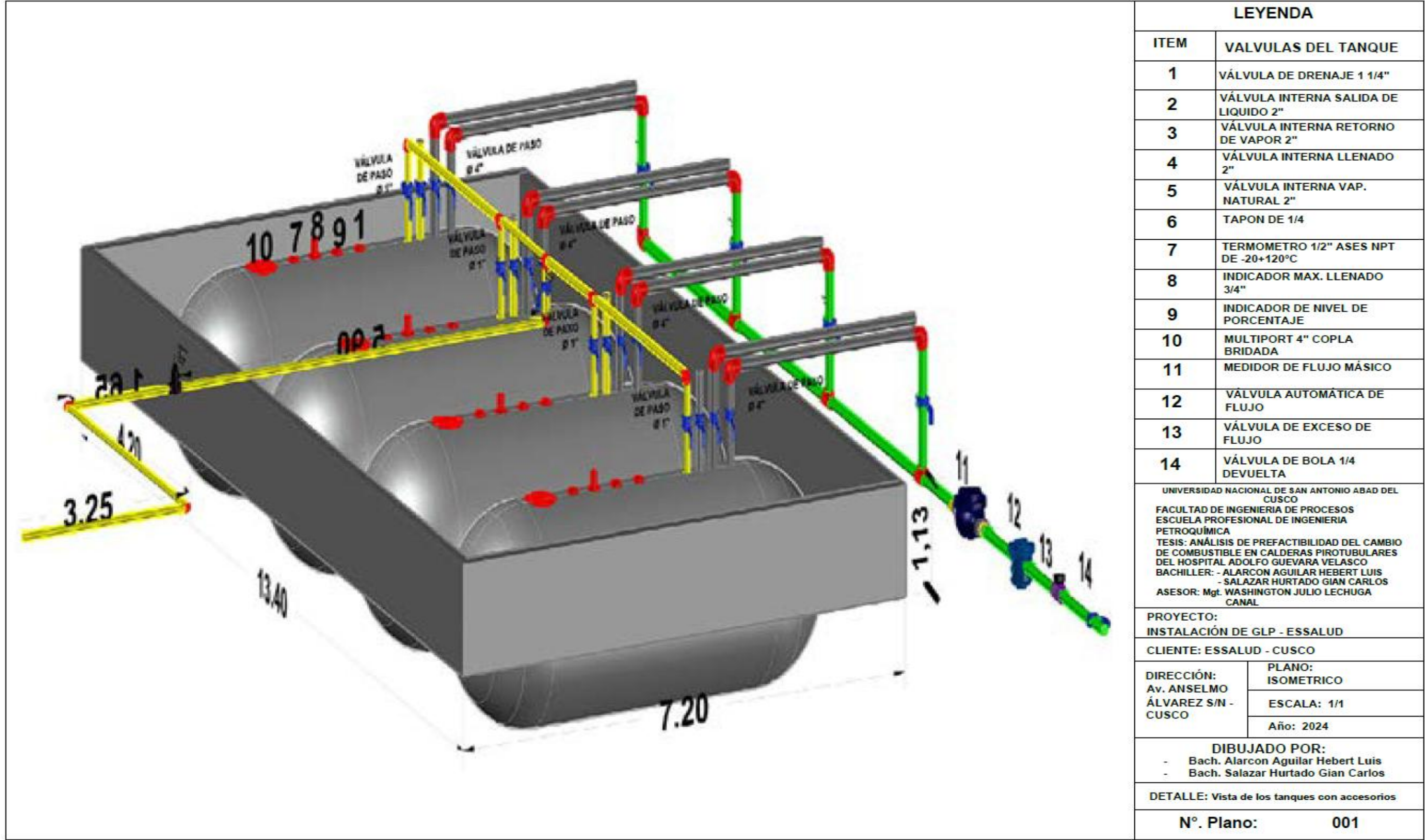
Redes internas

Para las redes internas se seleccionan tuberías de acero SCH40 y válvulas que empiezan en el regulador de etapa única de alta presión, hasta el equipo que usará el gas combustible en este caso la caldera, se instalará la tubería matriz de acero SCH40 conforme a la norma NTP 321.121.

- Accesorios que serán unidos por niples de unión roscada.
- Válvulas de cierre.
- Codos, tes y otros accesorios.
- Tubería de acero tipo sch40.

Las redes internas en el área del patio del hospital irán enterradas a una distancia de 50 cm como la NTP 321.121 indica y serán debidamente señalizadas.

Figura 18
Plano Tanques de GLP



Sistema de tuberías de GLP

Para el cálculo del sistema de tuberías se usará la ecuación de Renouard que de acuerdo con REPSOL GAS (2024) relaciona las presiones a la salida del regulador y al final del tramo de tuberías con la densidad corregida del gas, la longitud de la tubería, su diámetro y el caudal del gas, tal como se muestra en la siguiente expresión.

$$P_a^2 - P_b^2 = 48,6 * S * L * Q^{1.82} * D^{-4.82} \quad (27)$$

Donde:

- Pa: Presión absoluta en el origen (kg/cm²).
- Pb: Presión absoluta en el final del tramo (kg/cm²).
- S: Densidad corregida (Es un factor que depende de la densidad relativa del gas, y de la viscosidad y compresibilidad de este), para GLP de composición 60/40 se usa el valor de 1.26.
- L: Longitud equivalente (Le en metros), y se calcula sumando a la longitud física del tramo las longitudes equivalentes por pérdida de carga en los accesorios (codos, tees, etc), para efectos de cálculo se asume un 20% más de la longitud real para tener en cuenta estas pérdidas.
- Q: Caudal de gas en Nm³/h.
- D: Diámetro interior de la tubería en milímetros (mm).

La presión de entrada es de 7 PSI, este valor será el que se configure en el regulador y la determinación de las dimensiones de las tuberías se determina a través del uso de la mayor longitud de la tubería desde el punto de carga, hasta la salida más lejana.

A. Dimensionamiento línea de media presión

Esta tubería estará compuesta por 5 tramos (AB, BC, CD, DE y EF), el más extenso es el tramo EF que presenta una longitud de 34 m y una demanda teórica total de consumo de 167 735 700.85 BTU/h , también se determinó el diámetro de la tubería y se siguió el mismo procedimiento para las demás líneas, tal como se observa en la Tabla 43.

Tabla 43
Resultados de dimensionamiento de líneas de media presión

Tramo	Longitud Real (m)	Longitud de Calculo (m) Le	Qreal (BTU / hora)	Qconsumo. (Nm ³ /hora)	Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interior (mm)
AB	1.65	1.98	16 735 701	169.83	2	52.48
BC	4.17	5.00	16 735 701	169.83	2	52.48
CD	3.25	3.90	16 735 701	169.83	2	52.48
DE	4.45	5.34	16 735 701	169.83	2	52.48
EF	34.00	40.80	16 735 701	169.83	2	52.48
FG	6.65	7.98	16 735 701	169.83	2	52.48

De acuerdo con la Tabla 43, se observan los valores de diámetros determinados para cada tramo de la línea de media presión y todas presentan un valor de 2 pulgadas, para lo cual es necesario considerar:

- La relación entre el caudal y diámetro debe ser menor a 150 ($Q/D < 150$).
- Número de Reynolds debe ser menor a 2×10^6 .
- Pérdidas de carga no deben exceder el 15% en la línea de media presión.
- La velocidad debe ser menor a 20 m/s para instalaciones en exteriores.

Para la solución de la ecuación, se toma como punto de partida la presunción de un valor para el diámetro y se sigue el proceso hasta lograr una velocidad menor a 20 m/s y pérdida de carga del 15%:

Los resultados presentados en la Tabla 43 y 44, muestran la serie de cálculos relacionados con la evaluación de presiones en distintos tramos de la tubería; se evalúan tanto la presión absoluta como la presión relativa a lo largo de los diferentes tramos, representados aquí como AB, BC, CD, DE, EF y FG.

Para cada tramo, se calculan:

- Presión Absoluta (P_i abs): Se refiere a la presión total medida en cada tramo, incluyendo la presión atmosférica en la ciudad del Cusco (0.71 atm).
- Diferencia de Presiones: Se realiza un cálculo de la diferencia de presión entre el inicio y el final de cada tramo (P_i abs - P_f abs).
- Presión Final (P_f): Tanto en términos absolutos como relativos, para determinar las variaciones en la presión a lo largo del sistema.
- Porcentaje Acumulado de Pérdida de Presión: Expresado en términos porcentuales para dar una idea de cuánto se ha reducido la presión a lo largo del sistema.
- Velocidad de Flujo: Expresada en m/s, que se mantiene constante en cada tramo, lo que sugiere un flujo uniforme.

Tabla 44

Resultados de dimensionamiento de diámetro interior líneas de media presión para P_i absoluta = 1.205 kg/cm^2

Tramo	$Q^{1,82}/D^{4,82}$	$ds \times Le \times 48,6$	$P_i^2 \text{ abs} - P_f^2 \text{ abs}$	$P_f \text{ abs}$ (kg/cm^2)	$P_f \text{ rel}$ (kg/cm^2)	$P_f \text{ relativa}$ (kg/cm^2)
AB	5.86E-05	121.25	0.007	1.20	0.49	0.49
BC	5.86E-05	306.42	0.018	1.19	0.48	0.48
CD	5.86E-05	238.82	0.014	1.19	0.48	0.48
DE	5.86E-05	327.00	0.019	1.18	0.47	0.47
EF	5.86E-05	2498.43	0.147	1.12	0.40	0.40
FG	5.86E-05	488.66	0.029	1.10	0.39	0.39

La continuación de los resultados, se observan en la Tabla 45, donde la velocidad se determina a través de la expresión.

$$V = 367.9 * \frac{Q}{D^2 * P} \quad (28)$$

Donde:

- 367.9: Factor de corrección dependiente de la Temperatura (12 °C).
- Q: Caudal (m³/h).
- D: Diámetro interior de la tubería (mm).
- V: Velocidad del gas en m/s.
- P: presión interior de la tubería (kg/cm²).

Tabla 45

Continuación de resultados de dimensionamiento de diámetro interior líneas de media presión para P_i absoluta = 1.21 kg/cm²

Tramo	% Acumulado = (Pi rel - P f rel) / Pi rel	Q / D <150	R = T x Q / D <= 2 x10 ⁶	Velocidad (m/s)
AB	0.25%	3.24	232 996.8	19.21
BC	0.62%	3.24	232 996.9	19.30
CD	0.49%	3.24	232 996.9	19.40
DE	0.68%	3.24	232 996.9	19.52
EF	5.40%	3.24	232 996.9	19.70
FG	1.16%	3.24	232 996.9	19.80

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 45, se obtiene una velocidad menor a 20 m/s cuando el diámetro nominal es de 2 pulgadas; además la suma del porcentaje acumulado de la caída de presión es 8.6% (menor a 15%).

De acuerdo con la Tabla 46 corresponde a un diámetro interior de 52.48 mm para una tubería SCH 40.

Tabla 46

Relación entre diámetros nominales e interiores

Diámetro nominal(pulg)	Diámetro interior de cobre (mm)	Diámetro interior de acero Sch 40 (mm)	Diámetro interior de acero Sch 80 (mm)
1/2	13.8	15.76	13.86
3/4	20	20.96	19.24
1	26	26.64	24.30
1 1/4	32.1	35.08	32.5
1 1/2	38.2	40.94	38.14
1 3/4	44.3	46.5	
2	50.4	52.48	49.22
2 1/2	62.62	62.68	58.98
3	74.9	77.92	73.66
4	99.2	102.26	97.18

Fuente: (REPSOL GAS , 2024)

B. Dimensionamiento de la tubería en el área de calderas

La tubería del área de calderas se encontrará en ambientes interiores, por lo que tendrá una velocidad máxima de 10m/s; además, esta tubería estará compuesta por 5 tramos (GH, HI, IJ, IK y KL), el más extenso es el tramo HI que presenta una longitud de 7.15 m y una demanda teórica de consumo de 16 735 701 BTU/h hasta el punto I, también se determinó el diámetro de la tubería a partir de la ecuación 27.

$$P_a^2 - P_b^2 = 48,6 * S * L * Q^{1.82} * D^{-4.82}$$

En la Tabla 47 se muestra el dimensionamiento de líneas en el área de calderas.

Tabla 47

Resultados de dimensionamiento de líneas de área de calderas

Tramo	Longitud Real (m)	Longitud de Calculo (m)	Qreal (BTU / hora)	Qc.n. (Nm ³ /hora)	Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interior (mm)
GH	1.45	1.74	16 735 701	16 735 700.85	169.83	3
HI	3.00	3.60	16 735 701	16 735 700.85	169.83	3
IJ	7.50	9.00	16 735 701	16 735 700.85	169.83	3
JK	6.50	7.80	16 735 701	16 735 700.85	169.83	3
JN	2.10	2.52	16 735 701	16 735 700.85	169.83	3
NO	3.77	4.52	16 735 701	16 735 700.85	169.83	3
KL	2.1	2.52	16 735 701	16 735 700.85	169.83	3
LM	3.77	4.52	16 735 701	16 735 700.85	169.83	3

De acuerdo con la Tabla 47, se observan los valores de diámetros determinados para cada tramo de la línea en el área de calderas presentan un valor de 3 pulgadas, además es necesario considerar:

- La relación entre el caudal y diámetro debe ser menor a 150 ($Q/D < 150$).
- Número de Reynolds debe ser menor a 2×10^5 .
- Perdidas de carga no deben exceder el 15% en la línea de media presión.
- La velocidad debe ser menor a 10 m/s para interiores.

Para la solución de la ecuación, se toma como punto de partida la presunción de un valor para el diámetro y se sigue el proceso hasta lograr una velocidad menor a 10m/s y pérdida de carga del 15%; además se evalúan tanto la presión absoluta como la presión relativa a lo largo de los diferentes tramos, representados aquí como GH, HI, IJ, JK, JN, NO, KL y LM (ver Tabla 48 y Tabla 49).

Tabla 48

Resultados de dimensionamiento de diámetro en el área de calderas para P_i absoluta = 1.104 kg/cm²

Tramo	$Q^{1.82}/D^{4.82}$	$ds \times Le \times 48.6$	$P_i^2 \text{ abs} - P_f^2 \text{ abs}$	$P_f \text{ abs}$ (kg/cm ²)	$P_f \text{ rel}$ (kg/cm ²)	$P_f \text{ relativa}$ (kg/cm ²)
GH	8.73E-06	106.55	0.00093	1.10	0.39	0.39
HI	8.73E-06	220.45	0.00192	1.10	0.39	0.39
IJ	8.73E-06	551.12	0.00481	1.10	0.39	0.39
JK	8.73E-06	477.64	0.00417	1.10	0.39	0.39
JN	8.73E-06	154.31	0.00135	1.10	0.39	0.39
NO	8.73E-06	277.03	0.00242	1.10	0.38	0.38
KL	8.73E-06	154.31	0.00135	1.10	0.38	0.38
LM	8.73E-06	277.03	0.00242	1.10	0.38	0.38

Tabla 49

Continuación de resultados de dimensionamiento en el área de calderas para P_i absoluta = 1.16 kg/cm².

Tramo	% Acumulado = ($P_i \text{ rel} - P_f \text{ rel}$) / $P_i \text{ rel}$	$Q / D < 150$	$R = T \times Q / D \leq 2 \times 10^6$	Velocidad (m/s)
GH	0.04%	2.180	156 926.0	9.50
HI	0.08%	2.180	156 926.0	9.51
IJ	0.20%	2.180	156 926.0	9.52
JK	0.17%	2.180	156 926.0	9.54
JN	0.06%	2.180	156 926.0	9.55
NO	0.10%	2.180	156 926.0	9.56
KL	0.06%	2.180	156 926.0	9.57
LM	0.10%	2.180	156 926.0	9.57

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 49, se obtiene una velocidad menor a 10 m/s cuando el diámetro nominal es de 3 pulgadas; además la suma del acumulado resulta ser 0.80% (<10%) y finalmente, la presión de salida en el final de tubería es de 0.438 kg/cm² que equivale a 428 mbar.

El plano Isométrico de las tuberías se muestra en la Figura 19.

3.4.13. Reguladores de presión de GLP

Al momento de seleccionar los reguladores, es importante que se tome en cuenta el consumo actual de la caldera y su operatividad, por lo que el regulador deberá asegurar un caudal de gas superior al requerido por los equipos; por lo que para la elección del regulador indicado fue necesario considerar el caudal teórico, así como también la presión de operación y ello se basó en las recomendaciones de cada fabricante para verificar que el regulador cumpla con los requisitos.

En el diseño propuesto, se instalará un regulador de etapa única que ira a la salida del tanque en la línea de vaporización natural; este equipo se deberá seleccionar cuidadosamente de acuerdo a los procedimientos dados por los fabricantes. Se eligió un sistema de regulación de etapa única (simple) en esta instalación debido a que:

- Es más económico: Un regulador de etapa única cuesta menos que uno de varias etapas y es suficiente para esta aplicación.
- Es más fácil de instalar y mantener.
- Cumple con los requisitos del sistema: Si la presión del vapor no varía mucho, un regulador simple es suficiente para controlarla sin complicaciones.

Regulador de presión

El regulador que se elija tiene que satisfacer la demanda máxima de la caldera, en este caso la demanda es de 16 735 701.66 BTU/h, Se opto por un regulador de una capacidad como mínimo 50% superior para poder garantizar un funcionamiento sin problemas, por lo que se seleccionó el regulador propuesto por la empresa Fisher – Emerson tipo 99-510P (2024) que cuenta con las siguientes especificaciones (ver Tabla 50):

Tabla 50

Especificaciones técnicas de regulador Emerson tipo 99-510P

Tipo	Conexión entrada	Conexión salida	Presión de descarga (psig)	Presión regulada (psig)	Capacidad (BTU/h)
99 – 512 P	2" FNPT	2" FNPT	5 - 15	15	37 950 000

Nota. Extraído de Catalogo Emerson – Fisher

Quemador

La caldera del hospital es de tipo Pirocubular, esto significa que el fuego pasa por los tubos internos calentando el agua que está fuera de los mismos produciendo vapor a grandes temperaturas; el quemador para utilizar en esta clase de equipos es un quemador monotobera que puede ser Alto/bajo Fuego o modulante

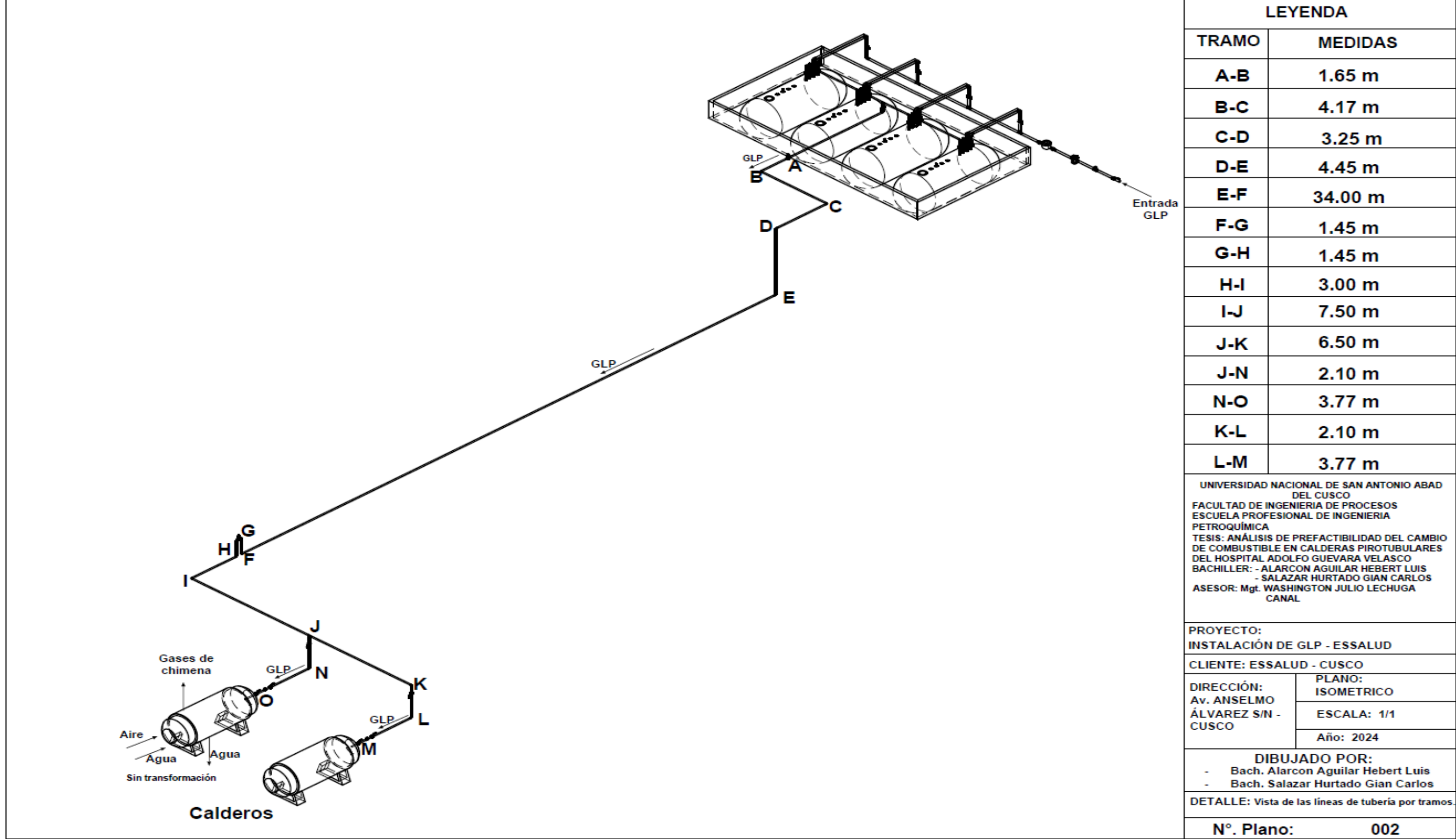
En esta propuesta se instalaron quemadores modulantes para optimizar la combustión interna generada. En la figura 20 se muestra el ensamble de elementos con la alternativa de GLP.

Para la selección del quemador de la caldera de 500 BHP, se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

- P: Presión de la red (psig).
- C: Combustible.
- Q: Flujo de combustibles quemado. (m³/h).

Por lo que el quemador seleccionado para este sistema es un quemador marca Baltur TBG 650 LX ME ya que la potencia de la caldera es 4903.65 Kw, por lo que se en reemplazará el quemador actual del hospital por un quemador de gas licuado de petróleo (GLP).

Figura 19
Plano Isométrico tuberías



Las especificaciones del quemador *TGB G650 LX ME* se muestran en la Tabla 51.

Tabla 51

Especificaciones técnicas de quemador TGB G650 LX ME

Especificaciones técnicas de quemador	
Marca	Baltur
Modelo	TBG 650 LX ME
Potencia máxima GLP (Kw)	6 500
Flujo máximo GLP st m ³ /h	266
Combustible	GLP/Gas Natural
Tipo	De dos etapas Progresivo/Modulante
Presión ingreso GLP (mbar)	111 - 500
Voltaje (Hz)	50
Potencia del ventilador (Kw)	15
Peso (Kg)	201

Nota. Extraído de Baltur

3.5.Determinación de gases generados

Para realizar la evaluación de impacto ambiental, se determinó la cantidad de gases generados con el uso de cada combustible en el balance de materia para el Diesel (Tabla 11) y el GLP (Tabla 20) y cuyos valores generación mensual de se muestran en la Tabla 52.

Tabla 52

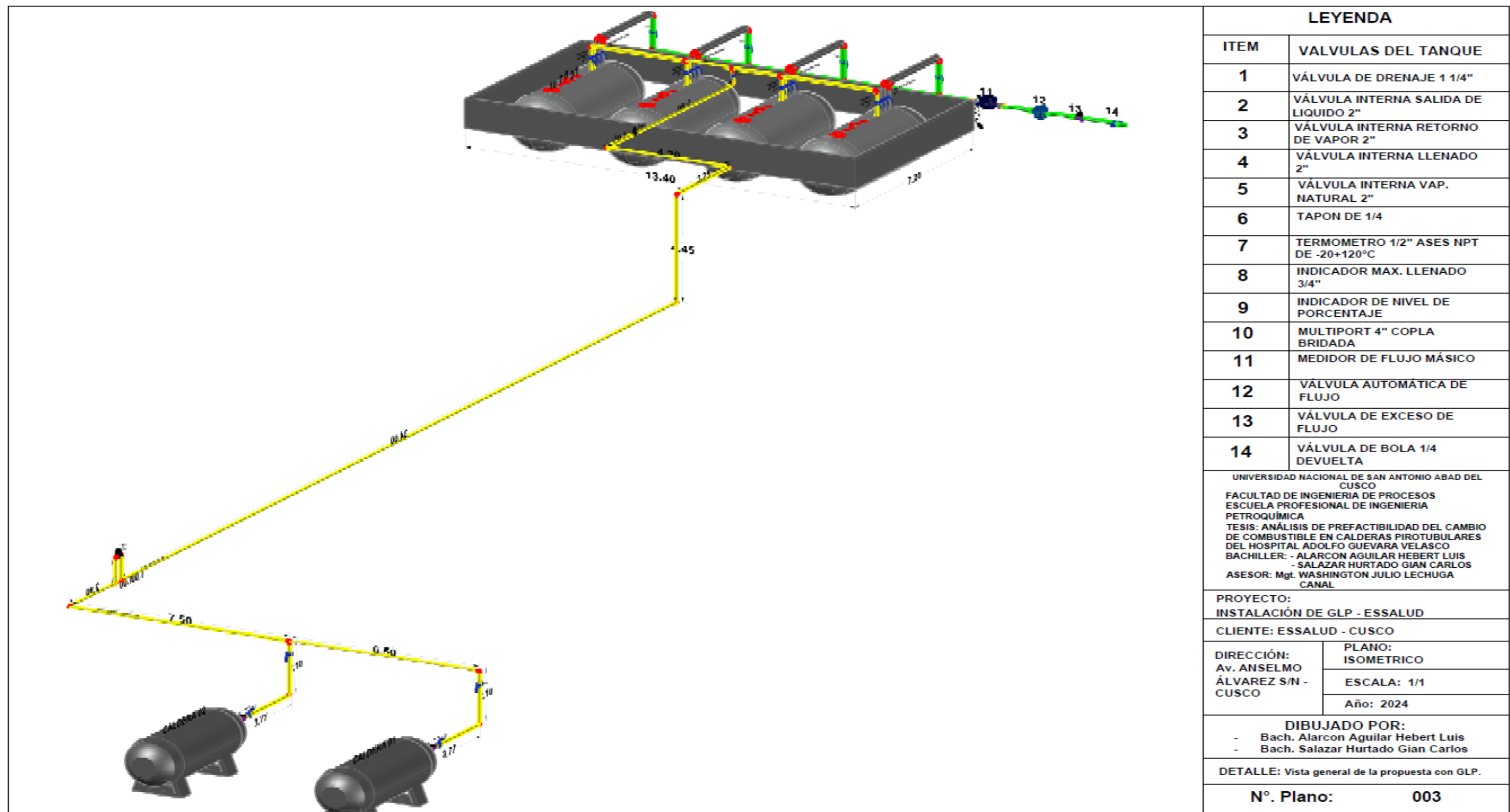
Generación mensual de contaminantes

	Diesel (kg/mes)	GLP (kg/mes)
CO ₂	117 612	97 511.04
SO ₂	3.69	0

De acuerdo con la Tabla 52, se observa que el Diesel emite mayor cantidad de contaminantes que el GLP; respecto al SO₂, el Diesel emite 3.69 kg/mes y el GLP no emite este contaminante por la composición mínima de azufre en su composición que se asume despreciable, respecto al CO₂ el Diesel emite 117 612 kg/mes, el GLP 97 511.04 kg/mes y este gas contribuye significativamente al efecto invernadero; sin embargo, no se considera en el Decreto Supremo N°206-2022-MINAM que si establece el Límite Máximo Permisible para el Azufre generado en calderas de 10 a 200 BHP y mayores a 200 BHP que es de 1250 mg/Nm³, el procedimiento para comparar con este valor el generado es:

3.5.1. Ensamble de elementos – plano de alternativa con GLP

Figura 20
Plano de alternativa con GLP



A) Determinación de datos de entrada

- Presión: 1 atm.
- Temperatura (a la que salen los gases): 523.15 K.
- Moles de SO₂ generados: 0.00006 mol/s con Diesel y 0 mol/s con GLP.
- Moles totales de gases de combustión: 26.88 mol/s.
- Constante Universal de los Gases (R): 0.0821 atm L/mol K.

B) Masa de SO₂ emitido

$$SO_{2\text{ emitido}} (mg/s) = \text{Moles de } SO_{2\text{ emitido}} (mol/s) * \text{Masa molar de } SO_2$$

$$SO_{2\text{ emitido}} (mg/s) = 0.00006 \frac{mol}{s} * 64 \frac{g}{mol} = 0.00384 \frac{g}{s} = 3.84 \frac{mg}{s}$$

C) Cálculo del volumen de gases generados en 1 m³ con Diesel

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (29)$$

$$V = \frac{26.88 \frac{mol}{s} * 0.0821 \frac{atmL}{molK} * 523.15K}{1atm} = 1154 \frac{L}{s} = 1.15 \frac{m^3}{s}$$

D) Normalizar el volumen de gases generados

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (30)$$

$$V_2 = V_1 * \frac{T_2}{T_1} = 1.15 \frac{m^3}{s} * \frac{273.15}{523.15} K = 0.6025 \frac{Nm^3}{s}$$

E) Cálculo de concentración emitida al ambiente (masa de SO₂/volumen de gases generados)

$$C_{SO_2} = \frac{3.84 \frac{mg}{s}}{0.6025 \frac{Nm^3}{s}} = 6.37 \frac{mg}{Nm^3}$$

En consecuencia, al utilizar diesel, se emite al ambiente una concentración de SO₂ de 6.37 mg/Nm³, valor que, si bien está por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP) de 1250 mg/Nm³, representa un aporte considerable de contaminantes; sin embargo, esta emisión se reduce significativamente al emplear GLP, ya que este combustible no genera SO₂, por tener una cantidad mínima de azufre en su composición.

CAPITULO IV

ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON GLP

4.1. Aspectos Generales

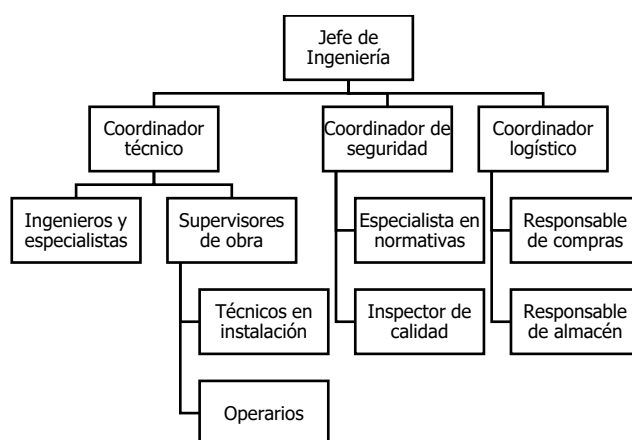
La organización del proyecto se realizará siguiendo una estructura vertical (Figura 21), lo que implica una jerarquía clara y definida donde cada nivel tiene responsabilidades específicas y reporta a un superior directo; se asignarán responsables en cada área garantizando una cadena de mando bien establecida y una comunicación fluida de arriba hacia abajo, esta estructura facilitará la toma de decisiones centralizada, la supervisión efectiva de las tareas y la rendición de cuentas, asegurando que cada equipo o individuo cumpla con sus funciones de manera eficiente y alineada con los objetivos generales del proyecto.

4.2. Estructura Organizativa del proyecto de cambio de combustible para la producción de vapor con Diesel y GLP

En la Figura 21, se muestra la estructura organizativa del proyecto.

Figura 21

Organigrama del proyecto



4.3. Descripción de puestos de responsabilidad y funciones

La organización del proyecto seguirá una estructura vertical que comienza con el Jefe de ingeniería, quien ejerce la autoridad máxima y coordina tres áreas principales: Técnica, Seguridad y Logística; bajo cada coordinador se asignarán funciones específicas, como que el Coordinador técnico gestiona a los ingenieros, especialistas y supervisores de obra, quienes a su vez dirigen a los técnicos en instalación y operarios; el Coordinador de seguridad supervisará al especialista en normativas y al inspector de calidad, garantizando el cumplimiento de estándares; y el Coordinador logístico administrará a los responsables de compras y de almacén, asegurando el suministro y control de materiales (ver Figura 21).

CAPITULO V

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON DIESEL Y GLP

5.1.Evaluación del impacto ambiental

Finalmente se realizó la evaluación del impacto ambiental que se generará durante y posterior a la ejecución del proyecto, para ello se realiza una matriz de Leopold, que permite evaluar los impactos ambientales y garantiza una consideración adecuada de los impactos en todas las etapas del proyecto, así mismo se debe tener en cuenta que el método matricial de Leopold propone elementos para la evaluación del Impacto Ambiental que son:

- Identificación de factores y efectos: Para ello es necesario que se recopilen los factores y efectos de cada actividad del proyecto y se otorgan puntuaciones del 1 al 10 indicando la magnitud del impacto sobre un aspecto ambiental específico (ver Tabla 53).

Tabla 53

Criterios de evaluación de magnitud de impacto para matriz de Leopold

Magnitud	Efecto	Calificación	Interpretación
Bajo	Bajo	(+/-)1	Impacto bajo con un efecto moderado
Bajo	Medio	(+/-)2	Impacto bajo pero con efectos más evidentes
Bajo	Alto	(+/-)3	Impacto moderado, poco perceptible
Medio	Bajo	(+/-)4	Impacto moderado con efectos perceptibles
Medio	Medio	(+/-)5	Impacto moderado con consecuencias importantes
Medio	Alto	(+/-)6	Impacto fuerte pero con efectos leves
Alto	Bajo	(+/-)7	Impacto fuerte con efectos significativos
Alto	Medio	(+/-)8	Impacto fuerte con efectos muy graves
Alto	Alto	(+/-)9	Impacto muy fuerte con consecuencias críticas
Muy Alto	Alto	(+/-)10	Impacto bajo con un efecto moderado

Nota. Adaptado de Herrera y Pacheco (2024)

- Valoración de importancia: Se realiza una valoración que refleja la importancia del impacto para el proyecto, dicha valoración se muestra en la Tabla 54.

Tabla 54*Criterios de evaluación de importancia de impacto para matriz de Leopold*

Duración	Influencia	Calificación	Interpretación
Temporal	Puntual	1	Impacto de corta duración y efecto muy localizado, sin relevancia significativa.
Medio	Puntual	2	Impacto de duración media, pero con efecto puntual, sin consecuencias importantes.
Permanente	Puntual	3	Impacto permanente, pero solo en un punto específico, con efectos mínimos.
Temporal	Local	4	Impacto temporal con afectación en una zona específica, con efectos perceptibles.
Medio	Local	5	Impacto de duración media con influencia en una zona local, con cierta importancia para el entorno.
Permanente	Local	6	Impacto permanente con influencia en una zona local, con efectos significativos para el entorno cercano.
Temporal	Regional	7	Impacto de corta duración, pero con efectos que alcanzan una región, lo que lo hace más relevante.
Medio	Regional	8	Impacto de duración media con influencia regional, con consecuencias ambientales importantes.
Permanente	Regional	9	Impacto permanente con influencia regional, con efectos graves y duraderos sobre el entorno.
Permanente	Nacional	10	Impacto permanente con influencia a nivel nacional, con consecuencias ambientales críticas y de alta relevancia

Nota. Adaptado de Herrera y Pacheco (2024)

- Cuantificación y evaluación : Para llevar a cabo la evaluación final de la matriz de Leopold, se calcula el valor de interacción mediante la multiplicación entre la puntuación asignada a la importancia y la magnitud de cada casilla evaluada, posterior a ello se realiza la suma algebraica de los valores obtenidos en cada columna y fila, lo que permite conocer el impacto total que produce cada actividad sobre los elementos ambientales evaluados y finalmente, se efectúa una suma global de todas las filas y columnas para obtener el impacto ambiental total del proyecto, verificando que los resultados sean consistentes con los signos correspondientes, ya sean positivos o negativos (Herrera & Pacheco, 2024).
- Asignación de colores: Para asignar los colores en cada celda de la matriz, se utilizó el producto entre la magnitud del impacto y su importancia y aunque de acuerdo con la Guía Metodológica Para la Evaluación de Impacto Ambiental de Conesa (2010) la mayoría de los impactos evaluados suelen situarse dentro del rango de -25 a +25, se consideró un rango extendido de -30 a +30 para clasificar los niveles de impacto con mayor precisión, esta ampliación permitió representar adecuadamente aquellos casos ligeramente más severos que podrían surgir en la evaluación sin llegar a los extremos

teóricos de ± 100 y los colores se asignaron por intervalos de 10 unidades, lo que facilitó la interpretación visual y la jerarquización de los impactos positivos y negativos, desde impactos muy altos hasta impactos nulos, tal como se muestra en la Tabla 55.

Tabla 55

Rangos y colores para evaluación de impactos en la matriz de Leopold

Rango	Interpretación	Color
$\geq +30$	Impacto muy alto positivo	Verde oscuro
+20 a +29	Impacto alto positivo	Verde claro
+10 a +19	Impacto moderado positivo	Azul
+1 a +9	Impacto bajo positivo	Celeste
0	Sin impacto	Blanco
-1 a -9	Impacto bajo negativo	Violeta
-10 a -19	Impacto moderado negativo	Amarillo
-20 a -29	Impacto alto negativo	Naranja
≤ -30	Impacto muy alto negativo	Rojo

Nota. Elaborado a partir de la Guía Metodológica Para la Evaluación de Impacto Ambiental de Conesa (2010)

Además, para la elección de la alternativa en el presente proyecto, se consideran los siguientes aspectos para la construcción de la matriz de Leopold; se identificaron las acciones del proyecto agrupadas en tres etapas principales: Instalación, operación y mantenimiento, las cuales incluyen actividades como la remoción de capa superficial, traslado e instalación de equipos, consumo y tratamiento de agua, generación de vapor, almacenamiento de combustible, emisión de gases, generación de residuos sólidos, entre otras.

Tabla 56

Matriz de Leopold para el Diesel

				Importancia: 1-10		1. Operación						2. Mantenimiento							
Valoración		Magnitud: 10 = Grande 5 = Mediano 1 = Pequeño		Importancia 1 = Nada, 10 = Alta		Consumo de agua	Tratamiento de agua	Generación de vapor	Almacenamiento de combustible	Emisión de gases	Total Acción 1	Mantenimiento de equipos	Consumo de material de escritorio	Afluencia de personal técnico	Generación de residuos sólidos	Transporte de materiales	Total Acción 2	Total Acciones	
FACTORES AMBIENTALES	A. Características físicas y químicas	1. Tierra	Suelos	-2 3	-1 3	-1 2	-3 4	-2 3	-32	-1 2	0 1	-2 3	-3 5	-2 3	-23	-61			
		2. Agua	Superficial y subterránea	-3 5	-4 4	-2 3	-1 2	-2 4	-47	-3 5	0 1	0 0	-2 5	-1 2	-27	-74			
		3. Aire	Calidad del aire (gases, partículas)	-2 4	-3 5	-8 9	-2 3	-4 6	-125	-3 5	0 1	0 0	-2 3	-3 3	-30	-155			
	B. Condicion es biológicas	1. Flora y Fauna	Árboles	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0			
			Áreas verdes	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	-1 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	-2	-2		
			Vida silvestre	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0		
	C. Socioeconómico	1. Uso de la tierra	Área de salud	-3 4	1 3	-2 3	0 0	0 0	-15	1 2	0 1	1 2	0 0	0 0	4	-11			
			Área de uso recreativo	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0		
			Áreas en desuso	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0		
		2. Aspectos culturales	Patrones culturales (estilo de vida)	0 1	0 1	-1 2	0 0	0 0	-2	0 1	0 1	-1 2	0 0	0 0	-2	-4			
			Empleo	2 3	2 3	3 4	1 2	0 0	26	1 2	0 1	0 1	0 0	0 0	2	28			
			Salud y seguridad	1 4	1 4	-2 4	0 0	-2 3	-6	-1 2	0 1	0 1	0 0	-1 2	-4	-10			
		3. Facilidades y actividades humanas	Red de transporte	-2 3	-1 3	-2 3	1 2	-2 3	-19	-1 2	0 1	0 1	0 0	-2 2	-6	-25			
			Manejo de residuos	-3 4	-2 3	-2 3	-1 2	-3 4	-38	-1 2	0 1	0 1	-1 2	-1 2	-6	-44			
			Redes de servicios	-2 3	-2 3	-2 3	-2 2	-2 3	-28	-1 2	0 1	0 1	0 0	-1 2	-4	-32			
TOTALES				-55	-49	-44	-20	-48	-286	-36	0	-6	-33	-27	-104	-390			

Tabla 57

Matriz de Leopold para el GLP

			Magnitud: 1-10 Importancia: 1-10		ACCIONES CON POSIBLES EFECTOS																		
			1. Instalación						2. Operación						3. Mantenimiento								
Valoración	Magnitud: 10 = Grande, 5 = Mediano, 1 = Pequeña Importancia 1 = Nada, 10 = Alta		Remoción de capa superficial	Traslado de equipos	Descarga de materiales	Instalación de equipos	Uso de maquinaria en instalación	Total Acción 1	Consumo de agua	Tratamiento de agua	Generación de vapor	Almacenamiento de combustible	Emisión de gases	Total Acción 2	Mantenimiento de equipos (pintura, limpieza)	Consumo de material de escritorio	Afluencia de personal técnico	Generación de residuos sólidos	Transporte de materiales	Total Acción 3	Total Acciones		
FACTORES AMBIENTALES	A. Características físicas y químicas	1. Tierra	Suelos	-5 5	-3 4	-2 3	-2 2	-1 2	-43	-2 3	-1 3	-1 2	-1 2	-2 3	-19	-1 2	0 1	-2 1	0 0	-1 2	-6	-74	
		2. Agua	Superficial y subterránea	-3 4	-2 4	-2 3	-2 2	-1 2	-32	-3 5	-4 4	-2 3	-1 2	-2 4	-47	-1 2	0 1	0 0	0 0	-1 2	-4	-83	
		3. Aire	Calidad del aire (gases, partículas)	-2 5	-2 4	-2 3	-2 2	-1 2	-30	-2 4	-3 5	-7 6	-2 3	-3 5	-100	-2 3	0 1	0 0	-1 2	-2 3	-14	-144	
	B. Condiciones biológicas	1. Flora y Fauna	Árboles	-4 4	-1 2	0 0	0 0	0 0	-18	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	-18	
			Áreas verdes	-5 4	-2 3	0 0	0 0	0 0	-26	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	-1 2	0 0	0 0	0 0	0 0	-2	-28	
			Vida silvestre	-3 3	-1 2	0 0	0 0	0 0	-11	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	-11	
	C. Socioeconómico	1. Uso de la tierra	Área de salud	-1 3	-1 2	1 2	0 0	0 0	-3	-3 4	1 3	-2 3	0 0	0 0	-15	1 2	0 1	1 2	0 0	0 0	4	-14	
			Área de uso recreativo	-3 4	-1 2	0 0	0 0	0 0	-14	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	-14	
			Áreas en desuso	2 2	1 2	0 0	0 0	0 0	6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0	6	
		2. Aspectos culturales	Patrones culturales (estilo de vida)	0 1	0 1	0 1	0 0	0 0	0	0 1	0 1	-1 2	0 0	0 0	-2	0 1	0 1	-1 2	0 0	0 0	-2	-4	
			Empleo	2 3	2 3	1 2	0 0	0 0	14	2 3	2 3	3 4	1 2	0 2	0	26	1 2	0 1	0 1	0 0	0 0	2	42
			Salud y seguridad	-1 3	-1 3	0 0	0 0	0 0	-6	1 4	1 4	0 0	0 0	-2 3	2	-1 2	0 1	0 1	0 0	-1 2	-4	-8	
		3. Facilidades y actividades humanas	Red de transporte	-2 3	-2 3	-2 2	0 0	-2 2	-20	-2 3	-1 3	-2 3	1 3	-2 3	-2	-19	-1 2	0 1	0 1	0 0	-2 2	-6	-45
			Manejo de residuos	-2 3	-2 3	0 0	0 0	0 0	-12	-3 4	-2 3	-2 3	-1 2	-3 2	-3	-38	-1 2	0 1	0 1	-1 2	-1 2	-6	-56
			Redes de servicios	-1 2	-1 2	0 0	0 0	0 0	-4	-2 3	-2 3	-2 3	-2 2	-2 2	-2	-28	-1 2	0 1	0 1	0 0	-1 2	-4	-36
TOTALES			-125	-51	-18	-12	-10	-205	-65	-36	-78	-12	-59	-240	-16	0	-2	-4	-20	-42	-487		

Finalmente se asignaron puntuación de magnitud e importancia usando los criterios mostrados anteriormente y se realizó la evaluación cuantitativa multiplicando la magnitud por la importancia para obtener los valores de interacción, los cuales se agruparon por columnas y filas para determinar los impactos parciales por cada actividad y factor ambiental.

Impacto ambiental

- Con Diesel

El impacto total mostrado en la Tabla 56, es -390, lo que refleja un efecto ambiental negativo; así mismo, el mayor impacto individual se encuentra en la emisión de gases con un valor de -125 (rojo intenso), lo que indica una afectación a la calidad del aire, seguido de impactos relevantes en el consumo de agua (-55) y almacenamiento de combustible (-48); además, el factor ambiental más afectado es el aire (-155), reflejando problemas de contaminación atmosférica y en contraste, algunos aspectos muestran efectos positivos o neutrales; por ejemplo, el empleo tiene un valor positivo de +26, lo cual indica beneficios sociales asociados a la alternativa; por lo que, en conjunto, la matriz revela que aunque hay pequeños aportes positivos en lo social, los impactos ambientales negativos del uso de diésel en calderas son dominantes y concentrados en contaminación del aire, consumo de recursos y manejo de residuos.

Respecto a los efectos ambientales de cada actividad, se observa que, el mayor impacto ambiental proviene de la emisión de gases (-125), seguida del consumo de agua (-55), tratamiento de agua (-49) y almacenamiento de combustible (-48), todas asociadas a la operación de la caldera; además, la generación de vapor (-44), actividad central del sistema, también contribuye negativamente al deterioro ambiental y en el mantenimiento, sobresalen la generación de residuos sólidos (-33) y el transporte de materiales (-27); por lo que, las actividades operativas son las más contaminantes, especialmente por su efecto en la calidad del aire y el uso intensivo de recursos, mientras que el mantenimiento tiene un impacto menor pero relevante en términos de residuos y logística.

- Con GLP

En tanto, el resultado total de la evaluación de la alternativa con GLP, detallado en la matriz de Leopold de la Tabla 57, evidencia un impacto ambiental total de -487, siendo la emisión de gases (-100) la actividad más perjudicial, seguida por el almacenamiento de combustible (-78) y el consumo de agua (-65), todos asociados a la operación del sistema; así mismo, el factor ambiental más afectado es el aire (-144), reflejando contaminación atmosférica; la fase de

instalación también genera impactos, especialmente por la remoción de capa superficial (-49) y el traslado de equipos (-51) y aunque el mantenimiento tiene efectos menores, se resalta la generación de residuos sólidos (-20) y el transporte de materiales (-42); no obstante, en contraste, se observan impactos positivos en empleo (+26) y en la red de transporte (+6), lo que señala ciertos beneficios sociales; por lo que, el análisis muestra que los impactos negativos se presentan en menor magnitud que con el uso de Diesel y estos se concentran en la degradación del aire, uso de recursos y manejo de materiales, superando los beneficios sociales identificados.

Finalmente, para tener más claro el escenario, se realiza la comparativa entre los impactos ambientales generados por ambas alternativas en la Tabla 58.

Tabla 58
Comparativa entre alternativas

Factor Ambiental	Proyecto con GLP	Proyecto con Diesel	Diferencia	Observaciones
Total General	-487	-390	-97	El GLP presenta un impacto ambiental general más alto que el Diesel.
Total de acción Instalación	-295	0	-295	El impacto en la instalación solo se presenta en el proyecto con GLP.
Total de acción Operación	-240	-286	46	El proyecto con Diesel genera más impacto en la etapa operativa.
Total de acción Mantenimiento	-42	-104	-62	El mantenimiento que se requiere en el proyecto con Diesel presenta mayor impacto ambiental que el proyecto con GLP.
Tierra (Calidad del suelo)	-74	-61	-13	El proyecto con GLP presenta un impacto mayor que el proyecto con Diesel respecto al suelo.
Agua (Calidad del Agua)	-83	-74	-9	El proyecto con GLP presenta un impacto ligeramente mayor en la calidad del agua asociado a un requerimiento mayor de consumo que afecta a la disponibilidad del recurso.
Aire (Calidad del aire)	-144	-155	-11	El proyecto con Diesel genera mayor impacto en el aire a causa de las emisiones (SO ₂ y CO ₂)

La comparación de los impactos ambientales entre el proyecto con GLP y el proyecto con Diesel (Tabla 58) muestra claramente que la alternativa con GLP es más favorable para el medio ambiente y la salud de las personas; el resultado general indica que el GLP tiene un impacto mayor, con una diferencia de 97 puntos en comparación con el Diesel y aunque el GLP presenta un impacto mayor, la diferencia se debe principalmente a la etapa de instalación; además en la etapa de operación y mantenimiento el GLP demuestra que es más favorable debido a que, en la operación el Diesel genera más impacto (286 frente a 240), ello a causa de las emisiones de gases como CO₂ (17.09% menos con GLP que con Diesel), y azufre (SO₂: 100% menos con GLP que con Diesel), los cuales afectan la calidad del aire; además, en el mantenimiento, el Diesel requiere una intervención de mayor impacto (104 frente a 42) y en cuanto a los recursos naturales, el GLP presenta un impacto ligeramente mayor en la calidad del suelo (74 frente a 61) y ligeramente mayor en la calidad del agua (83 frente a 74); sin embargo el Diesel es más contaminante respecto al aire (155 frente a 144); en consecuencia, aunque el GLP también es un combustible fósil, produce menos emisiones contaminantes; por lo que se destaca que la alternativa más favorable es el GLP.

CAPITULO VI

ESTUDIO LEGAL Y NORMATIVO

6.1. Cumplimiento de Regulaciones Locales e internacionales

- Reglamento de Seguridad para el almacenamiento de Hidrocarburos

Este reglamento establece las condiciones mínimas de seguridad para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de instalaciones destinadas al almacenamiento de hidrocarburos y su objetivo principal es prevenir accidentes, proteger la salud humana y el medio ambiente; el proyecto contará con tanques adecuadamente señalizados, sistemas contra incendios, ventilación y control de fugas, por lo que se cumplirá con esta norma.

- Decreto Supremo N.º 052-93-EM

Este decreto establece que los tanques destinados al almacenamiento de combustibles como el GLP deben diseñarse conforme al Código ASME Sección VIII, el cual regula los requisitos técnicos para recipientes a presión; el proyecto contempla tanques certificados bajo esta norma y con pruebas de presión realizadas por personal autorizado, por lo que se cumplirá con esta disposición.

- Ley de Hidrocarburos – Ley N.º 26221

Esta ley regula todas las actividades relacionadas con los hidrocarburos, desde su transporte hasta su comercialización, y exige instalaciones seguras y autorizadas; el proyecto cumplirá con este marco legal al contar con las aprobaciones correspondientes de la Dirección General de Hidrocarburos y seguir los procedimientos establecidos.

- Ley General del Ambiente – Ley N.º 28611

Esta ley establece los principios para la gestión ambiental en el país, regulando las emisiones contaminantes y los estándares de calidad del aire; el proyecto ha elaborado su instrumento de gestión ambiental y contempla el monitoreo periódico de emisiones, por lo que se ajustará a esta normativa.

- Norma Técnica Peruana NTP 321.123

Esta norma técnica establece los requisitos para las instalaciones internas de GLP, incluyendo los materiales, conexiones y dispositivos de seguridad; el proyecto utilizará componentes certificados y una empresa autorizada ejecutará la instalación, por lo que se cumplirá esta disposición.

- Norma Técnica Peruana NTP 321.121

La Norma Técnica Peruana NTP 321.121:2013 establece los requisitos técnicos para el diseño, construcción y pruebas de las instalaciones internas de gas licuado de petróleo (GLP) destinadas a consumidores directos y redes de distribución.

CAPITULO VII

INVERSIÓN DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON GLP

7.1. Costos de implementación de alternativa con GLP y Diesel

7.1.1. Costo de tanques de almacenamiento de GLP

Para calcular el costo de importación (CIF, o Cost, Insurance, and Freight) cuando se está comprando bienes desde el extranjero, se debe considerar los costos adicionales al costo FOB (Free On Board), como el flete, el seguro y otros gastos relacionados. Se realizan los cálculos, asumiendo que se desea importar cuatro tanques con un costo FOB de \$5 500 cada uno desde la costa del Golfo de EE. UU. hasta Perú en el Puerto del Callao (Matches, 2014).

$$FOB_{TOTAL} = 5500 \text{ USD} * 4 \text{ tanques} = 22\,000 \text{ USD}$$

$$FOB_{TOTAL} = 22000 \text{ USD} * \left(\frac{3.77 \text{ soles}}{1 \text{ USD}} \right) = 82\,940 \text{ soles}$$

El costo de flete es el costo de transporte desde el puerto de origen (en EE. UU.) hasta el puerto de destino (en Perú). Este monto suele depender del volumen, peso, y el trayecto específico.

De acuerdo al portal Bertling (2024) que muestra los precios de flete desde diversos puntos del mundo por vía aérea y marítima, el costo de flete desde EE.UU. hasta Perú es de 121 USD por tonelada, y el peso de por tanque de acuerdo a especificaciones de fabricante es de 3.8 toneladas por lo que el costo de flete de los tanques se determina a través del valor del dólar (3.77 soles) y de la expresión:

$$FLETE \text{ (soles)} = \# \text{ tanques} * 121 \left(\frac{\text{USD}}{\text{ton}} \right) * \left(\frac{3.77 \text{ sol}}{1 \text{ USD}} \right) * peso_{tanque} \text{ (ton)} \quad (31)$$

$$FLETE \text{ (soles)} = 4 * 121 \left(\frac{\text{USD}}{\text{ton}} \right) * \left(\frac{3.77 \text{ sol}}{1 \text{ USD}} \right) * 3.8 \text{ (ton)} = 6933.78 \text{ soles}$$

Por otro lado, de acuerdo con INEI (2021) se asume que el costo del seguro es del 1% aplicado sobre la suma del costo FOB más el costo de flete, por lo que se determina a través de la expresión:

$$Seguro = (FOB + FLETE) * 0.01 \quad (32)$$

$$Seguro \text{ (soles)} = (82940 + 6933.78) * 0.01 = 898.73 \text{ soles}$$

Por lo que el costo CIF o costo de importación se determina a través de la expresión:

$$CIF = FOB + FLETE + SEGURO \quad (33)$$

$$CIF = 82\,940 \text{ soles} + 6\,933.78 \text{ soles} + 898.73 \text{ soles} = 90\,772.51 \text{ soles}$$

Al costo CIF determinado se añade el costo asociado al transporte que se realizará desde Lima a la ciudad del Cusco, para lo cual se detalla el costo de combustible (Gasohol Regular) que a la fecha tiene precio de 14.79 soles de acuerdo con pequeños distribuidores, así mismo se usa la siguiente expresión para calcular el costo del transporte.

$$CT = TT * \#tanques + RPC * \#tanques + CE + CS + TM \quad (34)$$

Donde:

CT: Costo de transporte (US\$).

TT: Tarifa de transporte (200 dólares mínimo de acuerdo a cotización).

RPC: Recargo por combustible (10% de tarifa de transporte).

CE: Costo de embalaje (20 dólares mínimo de acuerdo a cotización).

CS: Costo de seguro (10 dólares mínimo de acuerdo a cotización).

TM: Tarifas de manipulación (10 dólares mínimo de acuerdo a cotización).

$$CT = 200 * 4 + 0.1 * 200 * 4 + 20 + 10 + 10 = 920 \text{ US\$}$$

El costo de transporte resultante es de 920 dólares que es equivalente a 3468,4 soles, este valor se suma al CIF que se obtuvo previamente para calcular el CIF total o costo total de la importación que resulta ser de S/. 94 240.91; sin embargo, el costo total de importación se determinó sin contar el IGV (impuesto general a las ventas) ni el arancel de, por lo que se suman estos costos al CIF total; de acuerdo con la SUNAT (Superintendencia Nacional de Administración Tributaria) los derechos de arancel en aduanas equivalen al 6% del CIF y el IGV es del 16%, por lo que el costo total de importación se determina a través de la expresión:

$$Costo_{total} = CIF_{total} + Arancel + IGV \quad (35)$$

$$Costo_{total}(\text{soles}) = S/. 94\,240.91 + S/. 94\,240.91(0.06) + S/. 94\,240.91 (0.16)$$

$$Costo_{total} = 114\,973.91 \text{ soles}$$

Por lo que el costo total de importación de los tanques de almacenamiento es de S/. 114 973.91.

7.1.2. Costos directos e indirectos

En esta sección se detallan los costos de los implementos y accesorios necesarios para la instalación de la alternativa con GLP o con Diesel, además del costo del personal necesario.

De acuerdo con la Tabla 59, los costos directos de US\$ 40 962.32, que incluyen materiales directos (US\$ 35 118.71), servicios de instalación y mantenimiento (US\$ 4 546.51), y mano de obra (US\$ 1 297.10); mientras que los costos indirectos ascienden a US\$ 208.46, correspondientes a

herramientas y accesorios de apoyo. En conjunto, ambos tipos de costos suman un total de US\$ 41 170.78, antes de aplicar el margen adicional del 22%.

Tabla 59

Costos de implementos de alternativas

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total (US\$)
COSTOS DIRECTOS				
Materiales Directos				
Cinta Teflon 1/2 Roja	Roll	1.00	0.43	0.43
Cinta Teflon 1/2 Amarilla Para Glp	Roll	30.00	0.56	16.80
Caja Metalica Para Línea De Llenado	Und	1.00	24.00	24.00
Cinta De Seguridad De Glp	Roll	2.00	20.31	40.62
Codo Ac 1 " 300 Lbs X 90	Und	3.00	2.43	7.29
Codo Ac 2 " 300 Lbs X 90	Und	6.00	6.82	40.92
Codo Ac 3 " 300 Lbs X 90	Und	2.00	8.00	16.00
Medidor de Flujo	Und	1.00	1000	1000
Manómetro De 0-300 Psi C/Glicerina Inox	Und	2.00	23.00	46.00
Quemador TGBG650LXME	Und	2.00	15 000	30000
Regulador Fisher 99-512p	Und	1.00	2 941.18	2 941.18
Tapa Para Válvula De Llenado	Und	1.00	4.63	4.63
Tapa Para Válvula De Seguridad	Und	1.00	2.83	2.83
Tee Ac 1" P/So 150 Lbs	Und	3.00	2.81	8.43
Tee Ac 3" P/So 150 Lbs	Und	1.00	16.00	16.00
Tintes Penetrantes	Und	2.00	15.15	30.30
Tubo De Ac Sch 40 1 "	Mts	24.00	3.45	82.80
Tubo De Ac Sch 40 2 "	Mts	54.00	7.57	408.78
Tubo De Ac Sch 40 3"	Mts	30.00	8.00	240.00
Válvula Apollo 1" Mod 80 600 Wog	Und	5.00	26.10	130.50
Válvula Apollo 2" Mod 80 600 Wog	Und	1.00	61.20	61.20
Sub Total				35 118.71
Servicios de Instalación y Mantenimiento				
Inspección Instalación Industrial	Glb	1.00	1700.00	1700.00
Pintado De Tanque De 5200 Gal.	Glb	2.00	500.00	1000.00
Soportería Tipo Abrazadera Fg.	Un	30.00	1.80	54.00
Soportería Tipo U, Simple	Un	30.00	3.40	102.00
Pintado Logo Llenado Máximo	Glb	4.00	10.00	40.00
Pintado Sticker De Emergencia	Glb	4.00	10.00	40.00
Pintado De Gas Combustible No Fumar	Glb	4.00	20.00	80.00
Pintado De Rombo De Seguridad	Glb	4.00	15.25	61.02
Tubero	h	100.00	3.00	300.00
Tramite Itf	Un		169.49	169.49
Sub Total				4 546.51
Mano de Obra				
Técnico De Gas	h	70.00	4.75	332.50
Ayudante A	h	70.00	3.60	252.00
Pintor	h	70.00	2.50	175.00
Supervisor	h	70.00	7.68	537.60
Sub Total				1 297.1
COSTOS INDIRECTOS				
Herramientas y Accesorios de Apoyo				
Pruebas De Hermeticidad Ap	Glb	1.00	36.46	36.46
Caja Metálica	Un	1.00	40.00	40.00
Suministro E Instal. De Caja Metálica	Un	1.00	30.61	30.61
Pintado De Tubería Igual O Mayor A 1"	MI	108.00	0.94	101.39
Sub Total				208.46
Total				41170.78
Total + Margen de gasto (22%) (US\$)				49 008.35

Nota. Elaborado a partir de Cotización realizada por Magol Corporation (2020)

7.1.3. Costos operativos de producción de vapor con Diesel y GLP

B.1. Con Diesel

Para calcular el costo de producir vapor con Diesel, se considera la demanda determinada anteriormente en el estudio de mercado de los combustibles (11 277 gal Diesel).

La cantidad de vapor que se produce por hora con 41.7 galones de Diesel es de 1962.29 kg/h y el costo del Diesel, de acuerdo a referencias como Petroperú (2024), en el mercado cusqueño es de 16.93 soles por galón; por lo que el costo de producir dicha cantidad es de:

$$Costo_{vapor} = 16.93 \frac{\text{soles}}{\text{gal}} * 41.7 \frac{\text{gal}}{\text{hora}} = 707.23 \frac{\text{soles}}{\text{hora}}$$

B.1. Con GLP

Para calcular el costo de producir vapor con GLP y con la finalidad de realizar comparaciones respecto al Diesel, el flujo de vapor considerado a producir es de 2 119.19 kg/h, valor para el cual se usa el flujo masico de GLP determinado en los cálculos de almacenamiento del presente informe.

La cantidad de vapor que se produce por hora con 126.16 kg de GLP es de 1 962.29 kg/h y el costo del GLP, de acuerdo a referencias como Petroperú (2024) y el mercado cusqueño es de 3.5 soles por kilogramo, por lo que el costo de producir dicha cantidad es de:

$$Costo_{vapor} = 3.5 \frac{\text{soles}}{\text{kg}} * 126.16 \frac{\text{kg}}{\text{hora}} = 441.52 \frac{\text{soles}}{\text{hora}}$$

CAPITULO VIII

PRESUPUESTO DE GASTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON DIESEL Y GLP

8.1.Presupuesto para implementación de alternativa con Diesel

Para la implementación de la alternativa con Diesel, se asume que se requerirá dar mantenimiento a los tanques existentes actualmente y el costo se estima equivalente a la mitad costo estimado de importación para los tanques de GLP, Por lo que, el presupuesto se distribuye tal como se muestra en la Tabla 60.

Tabla 60

Presupuesto para implementación de alternativa con Diesel

Detalle	Unidad	Costo (US\$)
Inversión fija tangible		50 367.23
Maquinaria y equipos	und.	15 248.52
Herramientas y accesorios	und.	35 118.71
Inversión fija intangible		30 000
Estudios de pre-inversión	und.	10 000
Permisos y formalización	und.	15 000
Capacitación	und.	5 000
Capital de trabajo		45 636.90
Costos directos	und.	19 111.71
Costos indirectos	und.	26 525.19
Agua	und.	6 631.29
Electricidad	und.	6 631.29
Materiales de construcción	und.	13 262.59
Gastos administrativos		25 000
Sub total		151 004.14
Imprevistos (5%)		7 550.20
Total (US\$)		158 554.35

Por lo que el presupuesto necesario para la alternativa con Diesel es de 158 554.35 dólares que equivalen a 597 749.92 soles y ello será financiado por el estado; además, se debe tener en cuenta que se efectuarán gastos de producción de vapor que de acuerdo a cálculos realizados anteriormente equivalen a 707.23 soles por hora y que anualmente asciende a 2 036 822 soles y también se consideran gastos de mantenimiento trianual que equivalen al 15% de la inversión y cuyo costo anual asciende a 89 662.48 soles.

8.2. Presupuesto para implementación de alternativa con GLP

Para la implementación de la alternativa con GLP, se asume que se comprarán nuevos tanques y se realizarán nuevas instalaciones, por lo que, el presupuesto se distribuye tal como se muestra en la Tabla 61.

Tabla 61

Presupuesto para implementación de alternativa con GLP

Detalle	Unidad	Costo (US\$)
Inversión fija tangible		65 615.76
Maquinaria y equipos	und.	30 497.05
Herramientas y accesorios	und.	35 118.71
Inversión fija intangible		30 000
Estudios de pre inversión	und.	10 000
Permisos y formalización	und.	15 000
Capacitación	und.	5 000
Capital de trabajo		45 636.90
Costos directos	und.	19 111.71
Costos indirectos	und.	26 525.19
Agua	und.	6 631.29
Electricidad	und.	6 631.29
Materiales de construcción	und.	6 631.29
Gastos administrativos		25 000
Sub total		166 252.67
Imprevistos (5%)		8 312.63
Total (US\$)		174 565.31

Por lo que el presupuesto necesario para la alternativa con GLP es de 174 565.31 dólares que equivalen a 658 111.22 soles y ello será financiado por el estado. Además, se debe tener en cuenta que se efectuarán gastos de producción de vapor que de acuerdo a cálculos realizados anteriormente equivalen a 441.55 soles por hora y que anualmente asciende a 1 271 164 soles y también se consideran gastos de mantenimiento que equivalen al 15% de la inversión y cuyo costo anual asciende a 98 716.68 soles y se aplicará a partir del 6to año de uso.

CAPITULO IX

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR CON DIESEL Y GLP

9.1.Evaluación de alternativa con Diesel

A. Flujo de Caja Nominal

La evaluación se realiza tomando en cuenta un periodo de 6 años de operación y se establece que la inversión inicial, de acuerdo a los cálculos realizados es de 592 419.6 soles, además el periodo de mantenimiento es cada 3 años y el costo de operación por hora es de 707.23 y anual es de 2 290 680 soles y se asume que se obtendrá una utilidad social del 10%, por lo que el valor final de los ingresos se determina a través de la expresión 36; entonces el valor final del producto que es vapor de agua producido a partir de Diesel es de 777.95 soles por hora que equivale a 2 520 567.87 soles por año, con ello el flujo de caja que se obtiene se muestra en la Tabla 62.

$$\text{Ingresos} = 1.1 * (\text{Costos operativos}) \quad (36)$$

Tabla 62

Flujo de caja nominal de alternativa con Diesel

	Egresos (S/.)	Ingresos (S/.)	Flujo de caja (S/.)
Inversión			-597 749.92
Año1	2 291 425.2	2 520 563.87	229 138.67
Año2	2 291 425.2	2 520 563.87	229 138.67
Año3	2 381 087.688	2 520 563.87	139 476.18
Año4	2 291 425.2	2 520 563.87	229 138.67
Año5	2 291 425.2	2 520 563.87	229 138.67
Año6	2 381 087.688	2 520 563.87	139 476.18

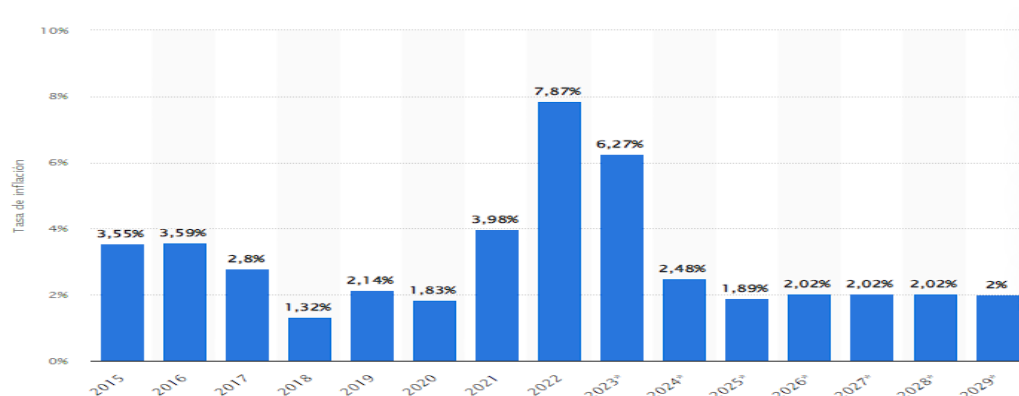
Con el flujo de caja mostrado en la Tabla 62, se determinan los indicadores VAN y TIR de la alternativa y resultan ser de 282 231.86 soles y 26% respectivamente, por lo que la alternativa cuenta con viabilidad; no obstante, en este caso no se incluye la inflación y la depreciación, aspectos que si se consideran el flujo de caja real.

B. Flujo de Caja Real

Para determinar el fujo de caja real se deben considerar los efectos de la depreciación en las instalaciones, maquinaria y otros elementos tangibles que conforman el sistema de generación de vapor y la inflación anual sobre el dinero invertido; en consecuencia, para el primer aspecto de acuerdo con la NIC 16, la tasa máxima de depreciación para maquinarias es del 10%, así mismo, para el segundo aspecto se consideran los índices de inflación por año a nivel nacional y su respectiva proyección realizada por la SUNAT.

Figura 22

Tasas de inflación desde el 2015 al 2029 en Perú



Nota. Statista (2025)

En consecuencia, el efecto de la depreciación y de la inflación se determina a través de las expresiones:

$$Depreciación_{anual} = \frac{C - V_r}{n} \quad (37)$$

Donde:

- C: Costo del activo (S/. 597 749.92).
- Vr: Valor residual del activo.
- n: Vida útil (10 años, valor recomendado a considerar por la SUNAT).

Además, el valor residual del activo se determina a través de la expresión:

$$V_r = C * (1 - d * n) \quad (38)$$

Donde:

- d: Porcentaje de depreciación anual (10%=0.01).
- Vr: 0

Entonces:

$$Depreciación_{anual} = \frac{S/. 597 749.92}{10} = S/. 59 774.99$$

Este valor representa en caso de las empresas privadas un valor de ahorro fiscal por depreciación, lo que afectaría el flujo de caja incrementando este valor al monto final de cada año; no obstante, el presente proyecto es orientado al sector público, por lo que no se considera este efecto, pero si el valor de desgaste de los equipos en la planta anualmente que se resta a los valores finales del flujo

de caja sin depreciación (Tabla 62), esto considerando este valor como una provisión anual para reemplazo al final de la vida útil de los equipos de la planta, por ejemplo, para el año 1:

$$\text{Monto final al año } 1_{\text{depreciación}} = \text{S/}.229\,138.67 - \text{S/}.59\,774.99 = \text{S/}.169\,363.68$$

El mismo procedimiento se aplica para los años posteriores; además se aplica el valor de inflación anual promedio calculado de las estimaciones de la SUNAT a partir del 2024 al 2029 (Figura 22) que es de 2.07%, lo que también afecta al flujo de caja y en el año 1 el monto final resultaría de:

$$\text{Monto final al año } 1_{\text{depreciación} + \text{inflación}} = \frac{\text{Monto final al año } 1_{\text{depreciación}}}{(1 + \text{inflación})}$$

$$\text{Monto final al año } 1_{\text{depreciación} + \text{inflación}} = \frac{\text{S/}.169\,363.68}{(1 + 0.0207)} = \text{S/}.165\,928.95$$

En consecuencia, el flujo de caja real resultante posterior a los efectos de depreciación e inflación se muestra en la tabla 63.

Tabla 63

Flujo de caja real de alternativa con Diesel

Año	Egresos con depreciación (S/.)	Ingresos (S/.)	Flujo de Caja con depreciación (S/.)	Flujo de caja Real (S/.)
Inversión	—	—	—	-597 749.92
Año 1	2 351 200.19	2 520 563.87	169 363.68	165 928.95
Año 2	2 351 200.19	2 520 563.87	169 363.68	165 928.95
Año 3	2 440 862.68	2 520 563.87	79 701.19	78 084.83
Año 4	2 351 200.19	2 520 563.87	169 363.68	165 928.95
Año 5	2 351 200.19	2 520 563.87	169 363.68	165 928.95
Año 6	2 440 862.68	2 520 563.87	79 701.19	78 084.83
	VAN	S/.9 329.61	TIR	11%

El flujo de caja real mostrado en la Tabla 63, los indicadores VAN y TIR de la alternativa y resultan ser de 9 329.61 soles y 11% respectivamente, por lo que la alternativa cuenta con viabilidad.

En tanto, el periodo de recuperación de capital se determina a través del flujo de caja real sumando los flujos de dinero por año hasta que el total acumulado sea superior a la inversión inicial, por lo que se obtiene el periodo de recuperación del capital en el primer año de flujo acumulado positivo (ver Tabla 64).

Tabla 64

Modelo financiero para el Diesel

	Flujo de caja (S/.)	Acumulado (S/.)
Inversión	-597 749.92	
Año1	165 928.95	-431 820.97
Año2	165 928.95	-265 892.02
Año3	78 084.83	-187 807.19
Año4	165 928.95	-21 878.24
Año5	165 928.95	144 050.71
Año6	78 084.83	222 135.54

Nota. De acuerdo a la tabla 64 se presenta el flujo acumulado y el año previo al que se recupera la inversión es el año 5; por lo que, el periodo de recuperación de la inversión se calcula con la expresión:

$$PRI = a + \frac{b-c}{d} \quad (39)$$

Nota. La expresión se extrae de Blank y Tarquin (2002)

Donde:

a: Año inmediato anterior al que se recupera la inversión (5).

b: Inversión inicial (S/.597 749.92).

c: Flujo de efectivo acumulado hasta el año 5 (S/.597 749.92-S/.165 928.95= S/.431 820.97).

d: Flujo de caja del año en el que se recupera la inversión (S/. 165 928.95).

$$PRI = 4 + \frac{S/.597\,749.92 - S/.431\,820.97}{S/.165\,928.95} = 5$$

En consecuencia, la inversión realizada con Diesel se recupera al final del año 5.

Finalmente, para determinar el costo beneficio de la alternativa, se determinan el VAN de los costos y de los beneficios y la relación resultante entre ambos es el valor del costo beneficio, por lo que si se obtiene un valor costo beneficio mayor a 1 la alternativa cuenta con rentabilidad social y económica, además se debe tener en cuenta que, de acuerdo con Blank y Tarquin (2002) la convención de signos tanto para numerador y denominador son positivos y se expresa a través de:

$$B/C = \frac{VAN_{BENEFICIOS}}{VAN_{COSTOS}} \quad (40)$$

Donde:

C-B: Costo beneficio (>1: rentable).

$$B/C = 1.05$$

Por lo que el valor resultante del beneficio costo de la alternativa es de 1.05 y es mayor a 1, por lo que cuenta con rentabilidad y económica ya que por cada sol que se invierte la alternativa genera 1.05 soles de beneficio.

9.2.Evaluación de alternativa con GLP

La evaluación se realiza tomando en cuenta un periodo de 6 años de operación y se establece que la inversión inicial, de acuerdo a los cálculos realizados es de 658 111.22 soles, además el periodo de mantenimiento es cada 6 años y el costo de operación por hora es de 441.55 soles y anual es de 1

271 664 soles y se asume que se obtendrá una utilidad social del 10%, debido a que se tiene como finalidad realizar comparaciones, por lo que el valor final de los ingresos se determina a través de la expresión.

Entonces el valor final del producto que es vapor de agua producido a partir de Diesel es de 485.70 soles por hora que equivale a 1 398 830,4 soles por año, con ello el flujo de caja que se obtiene se muestra en la Tabla 65.

A. Flujo de caja nominal

Tabla 65

Flujo de caja nominal de alternativa con GLP

	Egresos (S/.)	Ingresos (S/.)	Flujo de caja (S/.)
Inversión			-658 111.22
Año1	1 271 664	1 538 687.14	267 023.14
Año2	1 271 664	1 538 687.14	267 023.14
Año3	1 271 664	1 538 687.14	267 023.14
Año4	1 271 664	1 538 687.14	267 023.14
Año5	1 271 664	1 538 687.14	267 023.14
Año6	1 370 380,68	1 538 687.14	168 306.46

Con el flujo de caja anterior, se determinan los indicadores VAN y TIR nominales de la alternativa y resultan ser de 449 121.21 soles y 32% respectivamente, por lo que la alternativa sin considerar depreciación e inflación cuenta con viabilidad.

B. Flujo de caja real

$$Depreciación_{anual} = \frac{S/. 658\ 111.22}{10} = S/. 65\ 811.12$$

Tabla 66

Flujo de caja real de alternativa con GLP

Año	Egresos con depreciación (S/.)	Ingresos (S/.)	Flujo de Caja con depreciación (S/.)	Flujo de caja Real (S/.)
Inversión	—	—	—	- 658 111.22
Año 1	1 337 475.12	1 538 687.14	201 212.02	197 131.40
Año 2	1 337 475.12	1 538 687.14	201 212.02	197 131.40
Año 3	1 337 475.12	1 538 687.14	201 212.02	197 131.40
Año 4	1 337 475.12	1 538 687.14	201 212.02	197 131.40
Año 5	1 337 475.12	1 538 687.14	201 212.02	197 131.40
Año 6	1 436 191.80	1 538 687.14	102 495.34	100 416.71
	VAN	S/. 145 854.50	TIR	18%

El flujo de caja real es mostrado en la Tabla 66 y los indicadores VAN y TIR de la alternativa y resultan ser de 145 854.50 soles y 18% respectivamente, por lo que la alternativa considerando depreciación e inflación cuenta con viabilidad.

Tabla 67*Montos acumulados por año con GLP*

	Flujo de caja (S/.)	Acumulado (S/.)
Inversión	-658 111.22	
Año1	197 131.40	-460 979.82
Año2	197 131.40	-263 848.42
Año3	197 131.40	-66 717.02
Año4	197 131.40	130 414.38
Año5	197 131.40	327 545.78
Año6	100 416.71	427 962.49

Nota. De acuerdo a la Tabla 67, el año 3 presenta un flujo acumulado positivo, por lo que el año previo en el que se recupera la inversión es el año 2 y el PRI se calcula con la siguiente expresión:

$$PRI = 3 + \frac{S/.658\,111.22 - S/.66\,717.02}{S/.197\,131.40} = 3.34 = 4$$

En consecuencia, la inversión realizada con Diesel se recupera a mediados del año 4.

También se determina el valor del beneficio costo para la alternativa a través de la expresión:

$$B/C = 1.13$$

Por lo que el valor resultante del beneficio costo de la alternativa con GLP es de 1.13 y es mayor a 1, por lo que cuenta con rentabilidad social y económica ya que por cada sol que se invierte la alternativa genera 1.13 soles de beneficio; finalmente se comparan los indicadores financieros de ambas alternativas en la Tabla 68.

Tabla 68*Comparativa de indicadores financieros de alternativas (Diesel y GLP)*

Indicador Financiero	Alternativa con Diesel	Alternativa con GLP
Inversión Inicial (S/.)	597 749.92	658,111.22
VAN (S/.)	9 329.61	145 854.50
TIR (%)	11%	18%
PRI (años)	5	4
Relación Costo-Beneficio (C/B)	1.05	1.13
Periodo de mantenimiento	Cada 3 años	Cada 6 años

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 68, la alternativa con GLP, aunque implica una mayor inversión inicial (S/ 658 111.22 frente a S/ 597 749.92 de la opción con diésel), ofrece ventajas económicas y operativas superiores; específicamente, genera un Valor Actual Neto (VAN) considerablemente más alto (S/ 145 854.50 frente a S/ 9 329.61), alcanza una Tasa Interna de Retorno (TIR) mayor (18% frente a 11%) y permite una recuperación de la inversión más rápida (4 años frente a 5 años); además, presenta una mejor relación costo-beneficio (1.13 frente a 1.05) y un menor requerimiento de mantenimiento (cada 6 años en comparación con cada 3 años en la alternativa con diésel).

CAPITULO X

ANÁLISIS DE RIESGOS (RIESGO FINANCIERO)

10.1. Riesgos ante variaciones en el costo operativo

El análisis de riesgos se realizó con un flujo de caja nominal para mantener consistencia con los precios constantes del estudio, centrándose exclusivamente en los riesgos operativos inherentes al proyecto sin la distorsión de factores externos como la depreciación y la inflación; este enfoque de acuerdo con Damodarán (2012), permite una evaluación más clara de las vulnerabilidades reales del proyecto, facilita la comparación con datos reportados en términos similares, y evita la complejidad de introducir supuestos inflacionarios que podrían oscurecer el impacto directo de los riesgos específicos sobre la rentabilidad.

En la tabla 69 se muestra el análisis de sensibilidad para la alternativa con Diesel para un periodo de 6 años.

Tabla 69

Riesgos favorables y desfavorables ante cambios en costos operativos con el Diesel

Escenario	Var. Costos operativos	VAN (S/.)	TIR (%)
Favorable (Reducción de costos operativos)	-10%	1 280 207.27	71%
	-5%	781 219.57	49%
Actual Nominal	0%	282 231.86	26%
Desfavorable (Incremento de costos operativos)	3%	-17 160.76	9%
	5%	-216 755.84	-5%

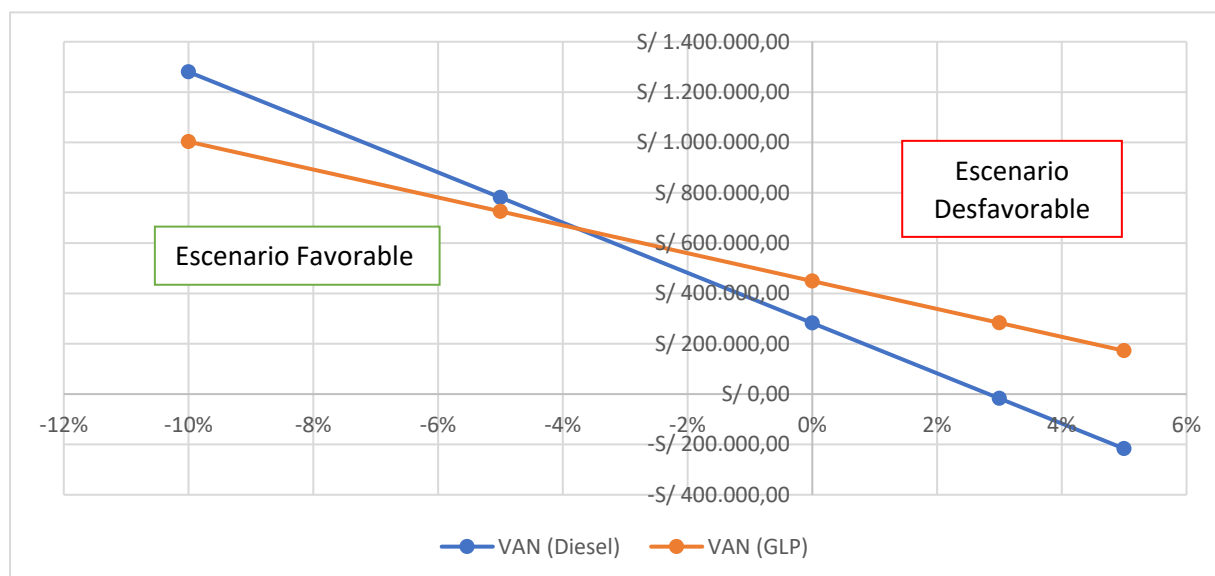
De acuerdo con la Tabla 69, se evidencia una clara sensibilidad del proyecto Diesel ante variaciones en sus costos operativos y es que, en un escenario favorable, una reducción del 10 % en costos eleva el VAN de S/. 282 231 a S/. 1 280 207 y la TIR de 26 % a 71 %, mientras que con sólo -5 % los indicadores suben a S/. 781 220 y 49 %, respectivamente; sin embargo, en el lado adverso, un modesto aumento del 3 % en costos hace caer el VAN a -S/. 17 161 y la TIR a apenas 9 %, y si los costos suben un 5 %, el proyecto muestra VAN negativo (-S/. 216 756) y una TIR de -5 %, evidenciando que la alternativa con Diesel es muy sensible al alza de costos y que su viabilidad financiera podría verse comprometida ante incrementos operativos moderados.

En la tabla 68 se muestra el análisis de sensibilidad para la alternativa con GLP para un periodo de 6 años.

Tabla 70*Riesgos favorables y desfavorables ante cambios en costos operativos con el GLP*

Escenario	Var. Costos operativos	VAN (S/.)	TIR (%)
Favorable (Reducción de costos operativos)	-10%	1 002 964.03	55%
	-5%	726 042.62	44%
Actual	0%	449 121.21	32%
Desfavorable (Incremento de costos operativos)	3%	282 968.36	24%
	5%	172 199.80	19%
	10%	-104 721.61	4%

De acuerdo con la Tabla 70, el análisis de sensibilidad para la alternativa con GLP muestra que una reducción del 10 % en costos operativos dispara el VAN a S/. 1 002 964 y la TIR al 55 %, mientras que con -5 % los indicadores suben a S/. 726 043 y 44 % y en el escenario base, el VAN es S/. 449 121 y la TIR 32 %; además, frente a aumentos de costos, un alza del 3 % reduce el VAN a S/. 282 968 y la TIR al 24 %, y si suben un 5 %, el VAN baja a S/. 172 200 con una TIR del 19 % e incluso con un incremento drástico del 10 %, el proyecto no reduce significativamente su VAN (S/. -104 722) y mantiene una TIR positiva del 4 %, lo que demuestra una mayor capacidad de resistencia al riesgo operativo en comparación con la alternativa Diesel; finalmente, se muestra el grafico de las variaciones del VAN o perfil de sensibilidad en la figura 23.

Figura 23*Perfil de sensibilidad ante riesgos financieros de alternativas con Diesel y GLP*

De acuerdo con la Figura 23, el riesgo financiero se relaciona principalmente con los costos operativos, afectando el VAN de ambas alternativas; sin embargo, el Diesel muestra mayor sensibilidad ante estos cambios, lo que evidencia una menor estabilidad financiera frente a la alternativa con GLP en contextos de incertidumbre.

CONCLUSIONES

- 1.- El presente estudio permitió formular un proyecto de prefactibilidad técnica, económica y ambiental para el cambio de combustible en las calderas pirotubulares del Hospital Adolfo Guevara Velasco del Cusco, con el objetivo de sustituir el uso de diésel B5 S50 y a partir del análisis integral realizado, se concluye que el cambio es viable y beneficioso, tanto desde una perspectiva operativa como de sostenibilidad, cumpliendo con los estándares técnicos y normativos requeridos
- 2.- Respecto a la demanda de vapor en el hospital, se estableció que esta asciende a 6 866 208 kg/año, distribuida entre lavandería (3 711 452.4 kg/año), nutrición (463 903.2 kg/año), servicios de suministro (2 319 645.6 kg/año) y para los calentadores (371 142 kg/año); además, la capacidad de generación instalada permite atender la carga térmica requerida sin afectar la continuidad de los servicios clínicos y logísticos del hospital.
- 3.- De las alternativas analizadas (GLP, GNC, GNL y petróleo industrial), el GLP destaca como la opción más viable frente al diésel, gracias a su mayor eficiencia (90% frente a 85%), menores pérdidas de energía, menores emisiones y un sistema de almacenamiento seguro (4 tanques de 5 200 gal, según NTP 321.123), aunque consume más volumen (16 957.8 gal/mes), su rendimiento (62.80 gal/h) permite futuras ampliaciones.
- 4.- El GLP presenta un menor impacto ambiental total (-487) frente al diésel (-390), con reducciones significativas en emisiones de SO₂ (100% menos) y CO₂ (17,09% menos), así como en consumo de agua, riesgos por almacenamiento y generación de vapor. Aunque afecta más la remoción de capa superficial (-125), ofrece menores impactos operativos (-240 vs. -286) y en residuos (-56 vs. -44), así mismo, aunque el GLP presenta un impacto considerable por la instalación que requiere, a largo plazo resulta ser más sostenible por sus bajos impactos operativos.
- 5.- El GLP, pese a requerir una inversión inicial 10,1% mayor (S/658 111 frente a S/597 750), ofrece mejores resultados económicos como, mayor rentabilidad (VAN S/145 855 respecto a S/9 330; TIR 18% respecto a 11%), recuperación más rápida (4 respecto a 5 años), menor mantenimiento (cada 6 respecto a 3 años) y menor costo operativo (S/441.52/h respecto a S/707.23/h), generando un ahorro anual de S/765 658; además, resiste aumentos de costos operativos de hasta 10% (manteniendo VAN positivo), mientras que el diésel no soporta un 3% (VAN negativo).

Recomendación

1.- Con base en los resultados obtenidos en la evaluación económica realizada para determinar la prefactibilidad del cambio de combustible en las calderas pirotubulares del Hospital Adolfo Guevara Velasco en Cusco, se recomienda proceder a la fase de factibilidad del proyecto, considerando que la alternativa de GLP ha demostrado ser la opción más ventajosa tanto en términos económicos como financieros y además de que el presente proyecto cuenta con la viabilidad necesaria.

Referencias bibliográficas

- Catuiro, F. (2024). Psicometría. Cusco.
- Cengel Yunus A. (2007). Transferencia de Calor y Masa (R. Del Bosque Alayón, Ed.; Tercera edición). McGraw-Hill.
- Código Técnico de Construcción Sostenible. (2021). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Conesa, V. (2010). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Mundiprensa.
- Cortez, G. C. (2023). Petróleo Industrial 500. Lima.
- Cusco, D. d. (25 de Abril de 2024). Información proporcionada por el área de ingeniería del Hospital Adolfo Guevara Velasco de Cusco. (Investigadores, Entrevistador)
- Economopulus, A. (2002). Evaluación de fuentes de contaminación del aire . OPS/CEPIS/PUB.
- EMERSON. (2024). Fisher - Emerson . Obtenido de <https://www.emerson.com/es-pe/automation/fisher>
- EsSalud. (2008). Uso de tecnología del gas en centros asistenciales de EsSalud. Lima: Sub Gerencia de Evaluación Tecnológica. Obtenido de <https://essalud.gob.pe/downloads/empresarial/salud/boltecno27.pdf>
- EsSalud. (2009). Plan de Manejo de Emergencias y Desastres del Hospital Adolfo Guevara Velasco, ESSALUD, Cusco. Cusco: COMITÉ DE SEGURIDAD Y DEFENSA DE LA RED ASISTENCIAL ESSALUD. Obtenido de https://googlegroups.com/group/coercusco/attach/e25f0e625c3e6d7a/PLAN_MANEJO_DE_EMERGENCIAS_HOSPITARIO_ESSALUD_30%20AGOSTO_2009%20ED%201.1%202009.pdf?part=0.1
- EsSalud. (2024). Reporte anual estadístico de EsSalud 2024. Cusco.
- INDECOPI. (2012). Norma Técnica Peruana NTP 321.123. Lima: Comité Técnico de Normalización de Instalaciones Internas de GLP. Obtenido de https://limacap.org/normatividad-2019/comercio/N.T.P.321.123_2012_TANQUES_ESTACIONARIOS.pdf
- INEI. (2021). Metodología exportación e importación FOB en valor real . Lima.
- Keeney, R., & Raiffa, H. (1993). Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs. Cambridge: Cambridge University Press. Obtenido de <https://www.cambridge.org/core/books/decisions-with-multiple-objectives/DEF338459C327778C3F8C4C4A682032F>
- Matches. (2014). matche.com. Obtenido de <https://www.matche.com/equipcost/Default.html>
- NFPA 58. (2014). Código del Gas Licuado del Petróleo.
- NFPA. (2024). Código del gas licuado de Petróleo. EE.UU. Obtenido de <https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-58-standard-development/58>
- NTP 321.007. (2002). Gas Licuado de Petróleo (GLP) requisitos. INDECOPI.
- NTP 350.300. (2008). Calderas industriales. Procedimiento para la determinación de la eficiencia térmica de calderas industriales.
- NTP 321.120. (2007). *Presiones de operación admisibles para instalaciones internas de gas licuado de petróleo*. Lima: Comisión de Regamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI.

- OSINERGMIN. (2015). La industria de los hidrocarburos líquidos del Perú (J. F. Tamayo Pacheco & Vásquez Cordano. Arturo Leonardo, Eds.; OSINERGMIN).
- OSINERGMIN. (2017). La Industria del Gas Natural en el Perú (J. F. R. Tamayo Pacheco, Ed.; OSINERGMIN).
- OSINERGMIN. (2024). Precio de referencia de combustibles. Obtenido de <https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/regulacion-tarifaria/precios-de-referencia-banda-de-precios/precios-de-referencia-de-combustibles>
- Perú LNG. (2013, 11 de octubre). *Hoja de Seguridad - Gas Natural Licuado (GNL)* (PRO-000-MSD-0001S). <https://www.perulng.com/sites/default/files/2023-02/MSDS-LNG-ES.pdf>
- Petroperú. (2019). Especificaciones técnicas Petróleo Industrial N°500. Lima: PETROPERÚ S.A. Obtenido de <https://www.petroperu.com.pe/Docs/spa/files/productos/et-pi500.pdf>
- Petroperú. (2019a). Diesel Ultra. Especificaciones del Diesel DB5 - S50. <https://www.petroperu.com.pe/productos/combustibles/diesel-ultra/>
- Petroperú. (2019b). GLP. Especificaciones Técnicas del GLP. <https://www.petroperu.com.pe/productos/combustibles/glp/>
- Petroperú. (2024). Lista de precios de combustibles con impuestos. Gerencia Corporativa planeamiento gestión .
- REGO. (2024). Manual de servicio para el instalador de Gas - LP.
- Ragland, K., & Bryden, K. (2011). *Combustion Engineering* . CRC Press.
- R.M. N° 649-2019/MINSA. (2019). Operación y mantenimiento de calderas de vapor pirotubulares en establecimientos de salud. MINSA.
- REPSOL GAS . (2024). Manual de formación técnica para instalaciones de GLP.
- REPSOL. (2016). Ficha de datos de Seguridad del Diesel B5 (DB5 S-50).
- SEACE. (2024). Catalogo único de bienes, servicios y obras. Obtenido de <http://zonasegura.seace.gob.pe/documentos//documentos/FichaSubInv/614744740radB41F7.pdf>
- Smith, V. (2007). *Manual del Ingeniero Químico*.
- Ulrich, G. D. (1993). *Diseño y economía de los procesos de ingeniería química* (1.^a ed.). Reverté.
- Smith, V. (2007). Manual del ingeniero químico.
- Vizcarra, I. (2024). Standards and criteria for the storage of natural gas. Obtenido de <https://www.ensenada.tecnm.mx/wp-content/uploads/2024/06/ISAAC-VIZCARRA.pdf>

Apéndices

Apéndice 1 Comparación de Alternativas al Diesel

- GLP

$$\text{Poder calorífico GLP} = 94447,25 \frac{\text{BTU}}{\text{Gln}}$$

$$\text{Poder calorífico DIESEL B5 S50} = 142026,069 \frac{\text{BTU}}{\text{Gln}}$$

$$\text{Energía entregada por el Diesel B5 S50} = \text{Galones de Diesel} * \text{PC del Diesel}$$

$$\text{Galones de GLP} = \frac{\text{Energía entregada por el Diesel}}{\text{PC del GLP}}$$

Consumo promedio de Diesel (Gln/mes)	Poder calorífico del Diesel(BTU/Gln)	Energía entregada por el Diesel (BTU/mes)	Poder calorífico de GLP(BTU/Gln)	Consumo promedio de GLP (Gln/mes)
11277	142026,069	1601619108,9	94447,25	16957,8

- Gas Natural (GN)

$$\text{Poder calorífico GN} = 0,1444622554 \frac{\text{BTU}}{\text{Gln}}$$

$$\text{Poder calorífico DIESEL B5 S50} = 142026,069 \frac{\text{BTU}}{\text{Gln}}$$

$$\text{Energía entregada por el Diesel B5 S50} = \text{Galones de Diesel} * \text{PC del Diesel}$$

$$\text{Galones de GN} = \frac{\text{Energía entregada por el Diesel}}{\text{PC del GN}}$$

Consumo promedio de Diesel (Gln/mes)	Poder calorífico del Diesel(BTU/Gln)	Energía entregada por el Diesel (BTU/mes)	Poder calorífico de GN(BTU/Gln)	Consumo promedio de GN (Gln/mes)
11277	142026,069	1601619108,9	144,6225543	11074476,7

- Residual 500

$$\text{Poder calorífico PI500} = 18524 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$\text{Poder calorífico DIESEL B5 S50} = 142026,069 \frac{\text{BTU}}{\text{Gln}}$$

*Energía entregada por el Diesel B5 S50 = Galones de Diesel * PC del Diesel*

$$\text{Galones de PI500} = \frac{\text{Energía entregada por el Diesel}}{\text{PC del PI500}}$$

Consumo promedio de Diesel (Gln/mes)	Poder calorifico del Diesel(BTU/Gln)	Energia entregada por el Diesel (BTU/mes)	Poder calorifico de PI500(BTU/Gln)	Consumo promedio de PI500 (Gln/mes)
11277	142026,069	1601619108,9	151498,5188	10571,8

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Anexos**ANEXO 1: Ficha de datos de seguridad del Diésel DB5 S50 tomado de (REPSOL, 2016)**

Conforme al Reglamento CE N° 1907/2006 - REACH y Reglamento CE N° 1272/2008 - CLP

Diesel B5 (DB5 S-50)**SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA****1.1 Identificador del producto**

Nombre comercial	Diesel B5 (DB5 S-50)
Nombre Químico	NP
Sinónimos	Combustible para motor diesel.
N° CAS	NP
N° CE (EINECS)	NP

N° Índice (Anexo VI

Reglamento CE N°	NP
-------------------------	----

1272/2008)

N° Registro	NP
N° Autorización	NP

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

NP

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Empresa	REFINERÍA LA PAMPILLA, S.A.A.
Dirección	Casilla Postal 10245 Km. 25 Carretera a Ventanilla. Lima-1 PERÚ
Teléfono	(51-1) 517-2021(51-1) 517-2022
Fax	(51-1) 5172026
Correo electrónico	NP

1.4 Teléfono de emergencia

Carechem 24: +34 9 1114 2520

Carechem 24: +44 (0) 1235 239 670

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla	2.2 Elementos de la etiqueta	
Clasificación Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Etiquetado	
Toxicidad aguda: Tox. ag. 4 Peligro por aspiración: Tox. asp. 1 Carcinogenicidad: Carc. 2 Toxicidad específica en determinados órganos: STOT repe. 2 Peligroso para el medio ambiente acuático: Acuático crónico. 2	Pictogramas GHS02 GHS07 GHS08 GHS09	   
	Palabra de advertencia	Peligro
	Indicaciones de peligro	H226: Líquidos y vapores inflamables. H304: Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias. H315: Provoca irritación cutánea. H332: Nocivo en caso de inhalación. H351: Se sospecha que provoca cáncer. H373: Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. H411: Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
	Información suplementaria	NP

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

	Consejos de prudencia	P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. P261: Evitar respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol. P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección. P301+P310: EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA o a un médico. P331: NO provocar el vómito. P501: Eliminar el contenido/recipiente en el contenedor habilitado para tal efecto conforme a la normativa vigente.
--	------------------------------	--

2.3 Elementos suplementarios que deben figurar en las etiquetas

NP

2.4 Requisitos especiales de envasado

Recipientes que deben ir provistos de un cierre de seguridad para niños:

No aplica.

Advertencia de peligro táctil:

No aplica.

2.5 Otros peligros

Los resultados de la valoración PBT y mPmB del producto, de conformidad con los criterios establecidos en el anexo XIII del reglamento REACH, se pueden consultar en la sección 12.5 de esta FDS.

La información relativa a otros peligros, diferentes a los de la clasificación, pero que, pueden contribuir a la peligrosidad general del producto, se puede consultar en las secciones 5, 6 y 7 de esta FDS.

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

- II** Mezcla de 95% de volumen de gasóleo de automoción (Diesel N.º 2) con 5% de volumen de ésteres metílicos de aceites vegetales y 50 ppm de azufre máximo.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Componentes peligrosos Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Concentración (%)	Indicaciones de peligro
Combustibles, gasóleo Nº CAS: 68334-30-5 Nº CE (EINECS): 269-822-7	95	H226, H304, H315, H332, H351, H373, H411

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS**4.1.Descripción de los primeros auxilios**

Inhalación: Trasladar al afectado a una zona de aire fresco.

Si la respiración es dificultosa practicar respiración artificial o aplicar oxígeno.

Ingestión/aspiración: NO INDUCIR EL VÓMITO para evitar la aspiración hacia los pulmones.

En caso de entrada accidental de pequeñas cantidades de producto a la boca es suficiente el enjuague de la misma hasta la desaparición del sabor.

Contacto con la piel: Quitar inmediatamente la ropa impregnada.

Lavar las partes afectadas con agua y jabón. Solicitar asistencia médica.

Contacto con los ojos: Lavar las partes afectadas con agua y jabón.

En caso de contacto con los ojos,lavar abundantemente con agua durante unos 15 minutos.
Solicitar asistencia médica.

4.2.Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

Inhalación: Nocivo por inhalación.

La exposición repetida y prolongada a altas concentraciones de vapor causa irritación de las vías respiratorias y alteraciones del sistema nervioso central. En casos extremos puede dar lugar a neumonía química.

Ingestión/aspiración: Causa irritación en la garganta y estómago.

La aspiración de gasóleo a los pulmones puede producir daño pulmonar.

Contacto con la piel: Irrita la piel.

El contacto prolongado y repetido puede producir irritación y causar dermatitis.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Contacto con los ojos: El contacto con los ojos puede causar irritación si se produce en altas concentraciones.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente Solicitar asistencia médica.

SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados: Agua pulverizada, espuma, polvo químico, CO₂. NO UTILIZAR NUNCA CHORRO DE AGUA DIRECTO.

Contraindicaciones: NP

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Productos de combustión: CO, CO₂, H₂O, hidrocarburos inquemados, hollín.

Medidas especiales: Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. Si no se puede extinguir el incendio dejar que se consuma controladamente. Consultar y aplicar planes de emergencia en caso de que existan.

Peligros especiales: Material combustible. Puede arder por calor, chispas, electricidad estática o llamas. El vapor puede alcanzar fuentes remotas de ignición e inflamarse. Los recipientes, incluso vacíos, pueden explotar con el calor desprendido por el fuego. Peligro de explosión de vapores en el interior, exterior o en conductos. Nunca verter a una alcantarilla o drenaje, puede inflamarse o explotar.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios:

Guantes y trajes resistentes al calor. Equipo de respiración autónoma en caso de elevadas concentraciones de vapores o humos densos.

SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Precauciones personales: Aislar el área.

Eliminar todas las fuentes de ignición; evitar chispas, llamas o fumar en la zona afectada.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Protección personal: Es recomendable el empleo de equipos de respiración autónoma y trajes impermeables u otras prendas protectoras adecuadas como guantes y gafas en presencia de altas concentraciones de vapores.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Los vertidos forman una película sobre la superficie del agua impidiendo la transferencia de oxígeno.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Derrames pequeños: Secar la superficie con materiales ignífugos y absorbentes.

Depositar los residuos en contenedores cerrados para su posterior eliminación.

Derrames grandes: Evitar la extensión del líquido con barreras y actuar de modo análogo a los derrames pequeños.

6.4. Referencia a otras secciones

El apartado 8 contiene consejos más detallados sobre los equipos de protección individual y el apartado 13 sobre la eliminación de los residuos.

SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Precauciones generales: NO SE DEBE VENDER O ALMACENAR GASOIL EN RECIPIENTES NO APROPIADOS PARA ELLO.

Disponer de un sistema de ventilación adecuado que impida la formación de vapores, neblinas o aerosoles.

Evitar la exposición a los vapores.

En el trasvase utilizar guantes y gafas para protección de salpicaduras accidentales.

No fumar y eliminar todas las posibles fuentes de ignición en el área de manejo y almacenamiento del producto.

Para el trasvase utilizar equipos conectados a tierra Evitar el mal uso del producto; por ejemplo emplearlo como un agente disolvente o de limpieza o succionar el producto de un depósito con un sifón para vaciarlo.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Condiciones específicas: En lugares cerrados usar sistema de ventilación local eficiente y antideflagrante.

En trabajos en tanques vacíos no se debe soldar o cortar sin haber vaciado, purgado los tanques y realizado pruebas de explosividad.

Se deben emplear procedimientos especiales de limpieza y mantenimiento de los tanques para evitar la exposición a vapores y la asfixia (consultar manuales de seguridad).

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Temperatura y productos de descomposición: Puede producir monóxido de carbono y vapores irritantes, en combustión incompleta.

Reacciones peligrosas: Producto combustible.

Condiciones de almacenamiento: Guardar el producto en recipientes cerrados y etiquetados. Mantener los recipientes en lugar fresco y ventilado, alejados del calor y de fuentes de ignición. Mantener alejado de oxidantes fuertes.

Materiales incompatibles: Sustancias oxidantes fuertes.

7.3. Usos específicos finales

Ver apartado 1 ó escenario de exposición

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1 Parámetros de control

Combustibles, para motor diesel (Nº CAS: 68334-30-5):
ACGIH (USA): TLV/TWA: 100 mg/m³.
Lijst Grenswaarden / Valeurs Limites (Bélgica): TWA: 100 mg/m³. NAOSH
(Irlanda): TWA: 100 mg/m³.

DNEL DNELs para trabajadores

Efecto sistémico, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día) : Ningún peligro identificado para esta ruta

Efecto sistémico, exposición aguda, Inhalación (mg/m³/15 min): 4300

Efecto local, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día): Ningún peligro identificado para esta ruta

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Efecto local, exposición aguda, Inhalación (mg/m³/15 min): Ningún peligro
identificado para esta ruta

Efecto sistémico, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg /8h): 2,9

Efecto sistémico, exposición prolongada, Inhalación (mg aerosol/m³/8h): 68
Efecto local, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día): Ningún peligro
identificado para esta ruta para exposiciones de 13 semanas ni tampoco efecto
umbral y/o ninguna información de respuesta a dosis disponible para
exposiciones crónicas

Efecto local, exposición prolongada, Inhalación (mg/m³/8 h): Ningún peligro
identificado para esta ruta

DNELs para la población

Efecto sistémico, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día) : Ningún peligro
identificado para esta ruta

Efecto sistémico, exposición aguda, Inhalación (mg/m³/15 min): 2600
Efecto local, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día): Ningún peligro
identificado para esta ruta

Efecto local, exposición aguda, Inhalación (mg/m³/15 min): Ningún peligro
identificado para esta ruta

Efecto sistémico, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg/día): 1.3

Efecto sistémico, exposición prolongada, Inhalación (mg aerosol/m³/día): 20
Efecto local, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día): Ningún peligro
identificado para esta ruta para exposiciones de 13 semanas ni tampoco efecto
umbral y/o ninguna información de respuesta a dosis disponible para
exposiciones crónicas

Efecto local, exposición prolongada, Inhalación (mg/m³/24 h): Ningún peligro
identificado para esta ruta

PNEC

PNEC agua, sedimentos, suelo, STP

Esta sustancia es un hidrocarburo de composición compleja, desconocida o
variable. Los métodos convencionales utilizados para calcular las concentraciones
de PNEC no convienen y resulta imposible identificar una sola concentración de
PNEC típica para tales sustancias.

PNEC Envenenamiento secundario oral

No se necesitan derivados de PNEC porque esta sustancia no está clasificada
como Muy Tóxica (T+) o Tóxica (T) o Dañina con al menos R48, R62, R63, R64.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

8.2 Controles de la exposición

Evitar el contacto prolongado y la inhalación de vapores.

Equipos de protección personal

Protección respiratoria: Máscara de protección respiratoria en presencia de vapores o equipo autónomo en altas concentraciones.

Protección cutánea: Guantes impermeables.

Protección ocular: Gafas de seguridad. Lavaojos.

Otras protecciones: Cremas protectoras para prevenir la irritación. Duchas en el área de trabajo.

Prácticas higiénicas en el trabajo: Seguir las medidas de cuidado e higiene de la piel, lavando con agua caliente y jabón frecuentemente y aplicando cremas protectoras. No utilizar disolventes.

Condiciones médicas agravadas por la exposición: Problemas respiratorios y afecciones dermatológicas. No se debe ingerir alcohol dado que promueve la absorción intestinal del producto

Controles de exposición medioambiental:

El producto no debe alcanzar el medio a través de desagües ni del alcantarillado. Las medidas a adoptar en caso de vertido accidental se pueden consultar en la sección 6 de esta FDS.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas

básicas Aspecto: Líquido aceitoso. Olor: Característico.

Umbral olfativo: NP

Color: NP

Valor pH: NP

Punto fusión/Punto de congelación: NP

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición: PIE 149 °C, PFE: 385 máx. (ASTM D-86)

Punto de inflamación: 60 °C (ASTM D-93)

Tasa de evaporación: NP

Inflamabilidad (sólido, gas): Líquidos y vapores inflamables.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Límites superiores/inferior de inflamabilidad o de explosividad: Límite inferior explosivo: 1.3%

Límite superior explosivo: 6 %

Presión de vapor: (Reid) 0.004 atm.

Densidad de vapor: 3.4 (aire: 1)

Densidad: 0.87 g/cm³ a 15 °C (ASTM D-1298) Solubilidad(es):

En disolventes del petróleo.

Coeficiente de reparto n-octanol/agua: NP

Temperatura de auto-inflamación: 257 °C

Temperatura de descomposición: NP

Viscosidad: (40 °C) 1.7-4.1 cSt (ASTM D-445)

Propiedades explosivas: NP

Propiedades comburentes: NP

9.2 Información adicional

Tensión Superficial: 25 dinas/cm a 25 °C Hidrosolubilidad:

Muy baja.

Punto de obstrucción filtro frío: -6 °C (verano e invierno) Calor de combustión: -45500 KJ/kg

(ASTM D-240) Azufre: 50 ppm (ASTM D-4294)

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1. Reactividad: NP

10.2. Estabilidad química: Producto estable a temperatura ambiente. Combustible por encima de su punto de ebullición.

10.3.Posibilidad de reacciones peligrosas: Sustancias oxidantes fuertes.

10.4. Condiciones que deben evitarse: Exposición a llamas, chispas o altas temperaturas.

10.5. Materiales incompatibles: NP

10.6. Productos de descomposición peligrosos: CO₂, H₂O, CO (en caso de combustión incompleta) e hidrocarburos inquemados

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1.Información sobre los efectos toxicológicos

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

La información toxicológica facilitada resulta de la aplicación de los anexos VII a XI del reglamento 1907/2006 (REACH).

Toxicidad aguda: Nocivo en caso de inhalación.

Corrosión o irritación cutáneas: Provoca irritación cutánea.

Lesiones o irritación ocular graves: NP

Sensibilización respiratoria o cutánea: NP

Mutagenicidad en células germinales: NP

Carcinogenicidad: Se sospecha que provoca cáncer. Clasificación CE: Categoría 3 (Sustancias cuyos posibles efectos carcinogénicos en el hombre son preocupantes, pero de las que no se dispone de información suficiente para realizar una evaluación satisfactoria)

La clasificación del producto se corresponde con la comparación de los resultados de los estudios toxicológicos realizados con los criterios que figuran en el Reglamento (CE) nº 1272/2008 para los efectos CMR, categorías 1A y 1B.

Toxicidad para la reproducción: No existen evidencias de toxicidad para la reproducción en mamíferos.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única: NP

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida:

Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

Peligro de aspiración: Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1. Toxicidad: Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos. Evitar que el vertido alcance el alcantarillado o cursos de agua.

12.2. Persistencia y degradabilidad: Liberado en el medio ambiente los componentes más ligeros tenderán a evaporarse y fotooxidarse por reacción con los radicales hidroxilos, el resto de los componentes más pesados también pueden estar sujetos a fotooxidación pero lo normal es que sean absorbidos por el suelo o sedimentos. Liberado en el agua flota y se separa y aunque es muy poco soluble en agua, los componentes más solubles podrán disolverse y dispersarse. En suelos y sedimentos, bajo condiciones aeróbicas, la mayoría de los componentes del gasóleo están sujetos a procesos de biodegradación, siendo en condiciones anaerobias más persistente. Posee un DBO de 8% en cinco días.

12.3. Potencial de bioacumulación: Los log Kow de los componentes del gasóleo sugieren su bioacumulación, pero los datos de literatura demuestran que esos organismos testados son capaces de metabolizar los hidrocarburos del gasóleo.

12.4. Movilidad en el suelo: NP

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB: Esta mezcla no contiene ninguna sustancia que determine su carácter PBT o vPvB.

12.6. Otros efectos adversos: NP

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Eliminación: Combustión o incineración. Los materiales contaminados serán depositados en vertederos controlados y como última alternativa podrán ser incinerados en tantose cumplan las condiciones técnicas apropiadas. Remitirse a un gestor autorizado.

Manipulación: Los materiales contaminados por el producto presentan los mismos riesgos y necesitan las mismas precauciones que el producto y deben considerarse como residuo tóxico y peligroso. No desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.

Disposiciones: Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir la ley 27314, ley general de residuos sólidos, su reglamento D. S. 057-2004-PCM y las normas sectoriales y locales específicas

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

y las disposiciones vigentes del D. S. 015-2006-EM relativo a la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos u otras disposiciones en vigor.

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

14.1. Número ONU: UN 1202

14.2.Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:

COMBUSTIBLE PARA MOTORES DIESEL

(PELIGROSO PARA EL MEDIOAMBIENTE)

14.3.Número de identificación de peligro: 30

14.4. Grupo de embalaje

ADR/RID: Clase 3.Código de clasificación: F1.Grupo de embalaje: III.Código de restricción en túneles: D/E.

IATA-DGR: Clase 3.Grupo de embalaje: III.

IMDG: Clase 3. Grupo de embalaje: III.

14.5. Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: Peligroso para el medioambiente.

IATA-DGR: Peligroso para el medioambiente.

IMDG: Contaminante del mar.

14.6. Transporte a granel con arreglo al anexo II del convenio Marpol 73/78 y del código IMSBC

No tiene categoría asignada para código IMSBC.

14.7.Precauciones particulares para los usuarios

Estable a temperatura ambiente y durante el transporte. Almacenar en lugares frescos y ventilados.

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

REGLAMENTO (UE) N o 453/2010: REQUISITOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA).

Reglamento (CE) no 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (CLP).

Ley N° 27314: Ley general de residuos sólidos.

D.S. 057-2004-PCM: que aprueba el reglamento de la Ley N° 27314, Ley general de residuos sólidos.

D.S. 015-2006-EM: Reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos.

D.S. 026-94-EM: Reglamento de seguridad para el transporte de hidrocarburos.

D.S. 030-98-EM: Reglamento para la comercialización de combustibles líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos.

D.S. 045-2001-EM: Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y otros Productos Derivados de los Hidrocarburos.

D. S. 041-2005-EM: Modificación del D. S. 025-2005-EM que aprueba el cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N.º 1 y N.º 2.

D. S. 025-2005-EM: Aprueban cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N.º 1 y N.º 2.

Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías peligrosas por carretera (ADR).

Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID).

Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG).

Regulaciones de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.

D.S. 021-2007-EM: Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles.

D.S. 064-2008-EM: Modifican Artículos del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles.

RCD-206-2009-OS-CD - Procedimiento Control Calidad de Biocombustibles y Mezclas.

RM 515-2009-MEM-DM - Establecen las Especificaciones de Calidad para el Gasohol.

R. S. 165-2008-MEM/DM: Calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

D.S. 061-2009-EM: Establecen criterios para determinar zonas geográficas en que se podrá autorizar la comercialización de combustible diesel un contenido de azufre máximo de 50 ppm.

Código internacional de sustancias químicas a granel (Código IMSBC), Convenio Marpol 73/78.

Reglamento Otros peligros

NP

15.2.Evaluación de la seguridad química

No se realizó una valoración de la seguridad química.

SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

Glosario

CAS: Servicio de Resúmenes Químicos.

IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

TLV: Valor Límite Umbral.

TWA: Media Ponderada en el tiempo.

STEL: Límite de Exposición de Corta Duración.

REL: Límite de Exposición Recomendada.

PEL: Límite de Exposición Permitido.

INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental – Exposición Diaria.

VLA-EC: Valor Límite Ambiental – Exposición Corta.

DNEL/DMEL: Nivel sin efecto derivado / Nivel derivado con efecto mínimo.

PNEC: Concentración prevista sin efecto.

DL50: Dosis Letal Media.

CL50: Concentración Letal Media.

CE50: Concentración Efectiva Media.

CI50: Concentración Inhibitoria Media.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

BOD: Demanda Biológica de Oxígeno.

NOAEL: nivel sin efectos adversos observados

NOEL: nivel de efecto nulo

NOAEC: Concentración sin efecto adverso observado

NOEC: Concentración sin efecto observado

NP: No procede

|| : Cambios respecto a la revisión anterior

Bases de datos consultadas

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Substances.

TSCA: Toxic Substances Control Act, US Environmental Protection Agency.

HSDB: US National Library of Medicine.

RTECS: US Dept. of Health & Human Services.

Texto completo de las Indicaciones de peligro que no están incluidas en el apartado 2

NP

Las empresas compradoras tienen la obligación de asegurar que sus empleados cuentan con la formación adecuada para manipular y utilizar el producto de forma segura, conforme a las indicaciones incluidas en esta ficha de datos de seguridad.

Asimismo, las empresas compradoras de este producto tienen la obligación de informar a sus empleados, y a las personas que pudieran manipularlo o utilizarlo en sus instalaciones, de todas las indicaciones incluidas en la ficha de datos de seguridad, especialmente, las referidas a los riesgos del producto para la seguridad y salud de las personas y para el medio ambiente.

La información que se suministra en este documento se ha recopilado en base a las mejores fuentes existentes y de acuerdo con los últimos conocimientos disponibles y con los requerimientos legales vigentes sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. Esto no implica que la información sea exhaustiva en todos los casos. Es responsabilidad del usuario determinar la validez de esta información para su aplicación en cada caso.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

ANEXO 2: Ficha de datos de seguridad del GLP tomado de (REPSOL GAS , 2024)

Conforme al Reglamento CE Nº 1907/2006 - REACH y Reglamento CE Nº 1272/2008 - CLP

GAS LICUADO DE PETRÓLEO**SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA****1.1 Identificador del producto**

Nombre comercial	GAS LICUADO DE PETRÓLEO
Nombre Químico	Mezclas de propanos y butanos Sinónimos GLP (Gas Licuado de Petróleo).

Nº CAS	68512-91-4
---------------	------------

Nº CE (EINECS)	270-990-9
-----------------------	-----------

Nº Índice (Anexo VI

Reglamento CE Nº	649-083-00-0
-------------------------	--------------

1272/2008)

Nº Registro	NP
--------------------	----

Nº Autorización	NP
------------------------	----

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Combustible.
Propelente.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Empresa	REFINERÍA LA PAMPILLA, S.A.A.
Dirección	Casilla Postal 10245 Km. 25 Carretera a Ventanilla. Lima-1 PERU
Teléfono	(51-1) 517-2021(51-1) 517-2022
Fax	(51-1) 5172026
Correo electrónico	NP

1.4 Teléfono de emergencia

Carechem 24: +34 9 1114 2520

Carechem 24: +44 (0) 1235 239 670

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla	2.2 Elementos de la etiqueta	
Clasificación Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Etiquetado	
Gases inflamables: Gas infl. 1 Gases a presión: Gas a pres.	Pictogramas	 
	GHS02 GHS04	
	Palabra de advertencia	Peligro
	Indicaciones de peligro	H220: Gas extremadamente inflamable. H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
	Información suplementaria	NP
	Consejos de prudencia	P102: Mantener fuera del alcance de los niños. P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. P377: Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección. P410+P403: Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.

2.3 Elementos suplementarios que deben figurar en las etiquetas

NP

2.4 Requisitos especiales de envasado

Recipientes que deben ir provistos de un cierre de seguridad para niños:

No aplica.

Advertencia de peligro táctil:

No aplica.

2.5 Otros peligros

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Los resultados de la valoración PBT y mPmB del producto, de conformidad con los criterios establecidos en el anexo XIII del reglamento REACH, se pueden consultar en la sección 12.5 de esta FDS.

La información relativa a otros peligros, diferentes a los de la clasificación, pero que, pueden contribuir a la peligrosidad general del producto, se puede consultar en las secciones 5, 6 y 7 de esta FDS.

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Combinación compleja de hidrocarburos producida por destilación y condensación del petróleo crudo.

Compuesta de hidrocarburos con un número de carbonos dentro del intervalo de C3 a C5, en su mayor parte de C3 a C4.

Componentes peligrosos Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Concentración (%)	Indicaciones de peligro
Hidrocarburos, ricos en C3-4, destilado del petróleo; Gases de petróleo. (1,3-butadieno < 0.1%) Nº CAS: 68512-91-4 Nº CE (EINECS): 270-990-9	>99	H220, H280

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1.Descripción de los primeros auxilios

Inhalación: Trasladar al afectado a una zona de aire fresco.

Si la respiración es dificultosa, practicar respiración artificial o aplicar oxígeno. Solicitar asistencia médica.

Ingestión/aspiración: NP

Contacto con la piel: Las quemaduras por congelación tienen el mismo tratamiento que las quemaduras de origen térmico.

Lavar inmediata, abundante y cuidadosamente con agua.

No frotar las partes afectadas. Solicitar asistencia médica.

Contacto con los ojos: Las quemaduras por congelación tienen el mismo tratamiento que las quemaduras de origen térmico.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Lavar inmediata, abundante y cuidadosamente con agua.

No frotar las partes afectadas. Solicitar asistencia médica.

4.2.Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

Inhalación: A altas concentraciones en el aire, posee propiedades narcóticas y asfixiantes debido a la disminución del oxígeno disponible para la respiración.

Puede causar efectos adversos sobre el sistema nervioso central.

Los efectos pueden incluir excitación, dolor de cabeza, mareos, somnolencia, visión borrosa, fatiga, temblores, convulsiones, pérdida de conocimiento y fallo respiratorio.

Concentraciones superiores al 10% pueden causar irregularidades cardíacas.

Ingestión/aspiración: NP

Contacto con la piel: El líquido o el vapor frío pueden producir quemaduras por congelación.

Contacto con los ojos: El líquido o el vapor frío pueden producir quemaduras por congelación.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente Solicitar asistencia médica.

SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados: Agua pulverizada, polvo químico seco y CO₂. NO UTILIZAR NUNCA CHORRO DE AGUA DIRECTO.

Contraindicaciones: NP

5.2.Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Productos de combustión: CO₂, H₂O, CO (en caso de combustión incompleta).

Medidas especiales: Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. No apagar la llama de un escape de gas. Aislar la

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

fuga si es posible y, en caso contrario, dejar quemar controladamente. Dispersar los vapores con agua pulverizada. Consultar y aplicar planes de emergencia en el caso de que existan.

Peligros especiales: Producto extremadamente inflamable. Puede inflamarse por calor, chispas, electricidad estática o llamas. El vapor, más pesado que el aire, puede desplazarse grandes distancias hasta fuentes de ignición. Los recipientes sin válvulas de seguridad pueden explotar tras exposición a elevadas temperaturas. Los recipientes semivacíos o vacíos, presentan los mismos riesgos que los llenos. Peligro de explosión de vapores en espacios cerrados, exteriores o en conductos. Son especialmente peligrosos los vertidos al alcantarillado.

5.3.Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios:

Guantes y trajes resistentes al calor. Equipo de respiración autónoma en caso de elevadas concentraciones de vapores o humos densos.

SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1.Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Precauciones personales: Aislar el área.

Evitar la entrada innecesaria de personas dentro de la zona afectada.

No fumar.

Evitar cualquier tipo de fuente de ignición (llama abierta, chispa).

Evitar las cargas electrostáticas.

Protección personal: Equipos de respiración autónoma en presencia de elevadas concentraciones de producto.

Guantes de PVC.

Protección ocular cerrada.

Calzado de seguridad antiestático.

6.2.Precauciones relativas al medio ambiente

En caso de vertido, el líquido sufre una intensa evaporación .

No presenta riesgos de contaminación acuática ni terrestre. Evitar que las fugas alcancen desagües y alcantarillas.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Derrames pequeños: Dejar evaporar.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Derrames grandes: Diluir los vapores con agua pulverizada y proceder como en el caso de fugas pequeñas.

6.4. Referencia a otras secciones

El apartado 8 contiene consejos más detallados sobre los equipos de protección individual y el apartado 13 sobre la eliminación de los residuos.

SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Precauciones generales: Evitar el contacto con piel, ojos y ropa.

No respirar los vapores.

Emplear sistemas antideflagrantes para la ventilación de locales cerrados donde se manipule o almacene el producto.

Mantener alejado de posibles fuentes de ignición (llamas, chispas).

No fumar en las áreas de manipulación del producto.

Evitar la acumulación de cargas electrostáticas.

Para el trasvase utilizar equipos conectados a tierra.

Condiciones específicas: En operaciones de llenado y manejo de botellas de gas licuado, se deben emplear guantes, traje y calzado antiestático; es aconsejable, en estas operaciones el empleo de gafas o mascarillas protectoras, para evitar posibles proyecciones. Equipos de trabajo y herramientas antichispas.

La limpieza y mantenimiento de los recipientes debe ser realizado por personal cualificado bajo las normas de seguridad existentes (asegurarse de que los contenedores están vacíos y exentos de vapores antes de realizar cualquier inspección, la cual será efectuada por personal especializado).

No soldar o cortar cerca de los contenedores.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Temperatura y productos de descomposición: NP

Reacciones peligrosas: Producto extremadamente inflamable y combustible.

El líquido tiene una marcada tendencia a almacenar electricidad estática cuando se transporta por tubería, por lo que es imprescindible en operaciones de carga y descarga dotar tanto a los sistemas de tuberías como a los recipientes de transporte, de tomas a tierra adecuadas.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Condiciones de almacenamiento: Guardar el producto en recipientes cerrados y etiquetados.
Mantener los recipientes en lugar fresco y ventilado, alejados del calor y de fuentes de ignición.
Mantener los recipientes alejados de oxidantes fuertes.
Es recomendable el uso de detectores de gas.

Materiales incompatibles: Sustancias oxidantes.

7.3. Usos específicos finales

Ver apartado 1 ó escenario de exposición

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1 Parámetros de control

Propano (Nº CAS: 74-98-6): INSHT (España):VLA/ED: 1000 ppm. ACGIH (USA): TLV/TWA: 1000 ppm. GKV_MAK (Austria): TWA: 1000 ppm (1800 mg/m³) / STEL: 2000 ppm (3600 mg/m³). Lijst Grenswaarden / Valeurs Limites.(Bélgica): TWA: 1000 ppm. Arbejdstilsynet (Dinamarca): TWA : 1000 ppm (1800 mg/m³) / STEL: 2000 ppm (3600 mg/m³). TRGS900 AGW (Alemania): TWA: 1000 ppm (1800 mg/m³) / STEL: 4000 ppm (7200 mg/m³). Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej (Polonia): TWA: 1800 mg/m³. NIOSH (USA): REL-STEL: 1000 ppm (1800 mg/m³). OSHA (USA): PEL-TWA: 1000 ppm (1800 mg/m³). Butano (Nº CAS: 106-97-8): INSHT (España):VLA-ED: 1000 ppm. ACGIH (USA): TLV/STEL: 1000 ppm. GKV_MAK (Austria): TWA: 800 ppm (1600 mg/m³) / STEL: 1600 ppm (3800 mg/m³). Lijst Grenswaarden / Valeurs Limites.(Bélgica): TWA: 800 ppm (1928 mg/m³).
Arbejdstilsynet (Dinamarca): TWA: 500 ppm (1200 mg/m³) / STEL: 1000 ppm (2400 mg/m³). INRS (Francia): TWA: 800 ppm (1900 mg/m³). TRGS900 AGW (Alemania): TWA: 1000 ppm (2400 mg/m³) / STEL: 4000 ppm (9600 mg/m³). EüM-SzCsM (Hungría):TWA: 2350 mg/m³ / STEL: 9400 mg/m³.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

LV Nat. Standardisation and Meteorological Centre (Letonia): TWA: 300 mg/m³.
Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej (Polonia): TWA: 1900 mg/m³ / STEL: 3000 mg/m³.
NIOSH (USA): REL-STEL: 800 ppm (1900 mg/m³).
EH40/2005 WELs (Reino Unido): OEL-TWA: 600 ppm (1450 mg/m³) / OEL-STEL: 750 ppm (1810 mg/m³).

DNEL NP

PNEC NP

8.2 Controles de la exposición

Evitar el contacto con el producto licuado y la inhalación del gas. Las ropas contaminadas de gas licuado deben ser mojadas rápidamente para evitar las irritaciones y el riesgo de inflamación, y ser retiradas si no están adheridas a la piel.

Equipos de protección personal

Protección respiratoria: Máscara de protección respiratoria en presencia de vapores o equipo autónomo en altas concentraciones.

Protección cutánea: Guantes de PVC. Calzado de seguridad antiestático resistente a productos químicos.

Protección ocular: Gafas de seguridad cerradas. Lavaojos.

Otras protecciones: Duchas en el área de trabajo.

Prácticas higiénicas en el trabajo: No fumar, comer ni beber en zonas donde se manipule o almacene gas licuado. Seguir las medidas de cuidado e higiene de la piel, lavando con agua y jabón frecuentemente y aplicando cremas protectoras.

Condiciones médicas agravadas por la exposición: No suministrar epinefrina u otras aminas simpaticomiméticas.

Controles de exposición medioambiental:

El producto no debe alcanzar el medio a través de desagües ni del alcantarillado. Las medidas a adoptar en caso de vertido accidental se pueden consultar en la sección 6 de esta FDS.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto: Gas licuado.

Olor: Característico, reforzado por compuestos de azufre.

Umbral olfativo: NP Color: Incoloro.

Valor pH: 6,0-8,0

Punto fusión/Punto de congelación: NP

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición: (-26.48 °C) - (-0.34 °C)

Punto de inflamación: (-96.8 °C) - (-75.9 °C)

Tasa de evaporación: NP

Inflamabilidad (sólido, gas): Extremadamente inflamable.

Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad: Límite inferior explosivo: 1.50
1.59% Límite superior explosivo: 8.99 - 9.37%

Presión de vapor: 7.5 kg/cm² máx. a 50 °C (ASTM D2598)

Densidad de vapor: 1.5 - 2 (aire: 1)

Densidad: 0.560 g/cm³ mín. a 15 °C (ASTM D1657)

Solubilidad(es): Hidrosolubilidad: En disolventes orgánicos.

Coeficiente de reparto n-octanol/agua: log Kow: 2.36 - 2.89

Temperatura de auto-inflamación: > 400 °C

Temperatura de descomposición: NP

Viscosidad: NP

Propiedades explosivas: NP

Propiedades comburentes: NP

9.2 Información adicional

Tensión Superficial: 14 - 16 dinas/cm a 0 °C (gas licuado)

Azufre total: 50 ppm máx. Poder calorífico superior: 11800 Kcal/kg mín. Olefinas totales: 20%
máx. (ASTM D2163)

Hidrosolubilidad: 0.0047% vol/vol

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1. Reactividad: En presencia de productos olefínicos y acetilénicos (etil y vinil acetileno).

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

10.2. Estabilidad química: Estable en condiciones normales. Extremadamente inflamable y combustible.

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas: Sustancias oxidantes fuertes.

10.4. Condiciones que deben evitarse: Exposición a llamas, chispas, calor y electricidad estática. Elevadas temperaturas. Exposición al aire.

10.5. Materiales incompatibles: NP

10.6. Productos de descomposición peligrosos: CO₂, H₂O, CO (en caso de combustión incompleta).

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

La información toxicológica facilitada resulta de la aplicación de los anexos VII a XI del reglamento 1907/2006 (REACH).

Toxicidad aguda: NP

Corrosión o irritación cutáneas: NP

Lesiones o irritación ocular graves: NP

Sensibilización respiratoria o cutánea: NP

Mutagenicidad en células germinales: NP

Carcinogenicidad: No presenta.

La clasificación del producto se corresponde con la comparación de los resultados de los estudios toxicológicos realizados con los criterios que figuran en el Reglamento (CE) nº 1272/2008 para los efectos CMR, categorías 1A y 1B.

Toxicidad para la reproducción: No existen evidencias de toxicidad para la reproducción en mamíferos.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única: NP

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida: NP

Peligro de aspiración: NP

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

12.1. Toxicidad: No se dispone de datos ecotoxicológicos. Las propiedades físicas indican que el producto se volatiliza rápidamente en ambientes acuáticos. La combustión de la gasolina es el mayor mecanismo de liberación del producto a la atmósfera.

12.2. Persistencia y degradabilidad: El producto se encuentra en fase gaseosa en el aire a temperatura ambiente. No es de esperar que la fotólisis, hidrólisis o bioconcentración del producto constituyan un importante destino medioambiental. La biodegradación del producto puede ocurrir en suelos y agua, no obstante, la volatilización es el proceso más importante. La vida media de evaporación del compuesto en aguas continentales se ha estimado en 2.2 hr (ríos) y 2.6 días (lagos). La reacción con radicales hidroxilo (vida media 6 días) y las reacciones químicas nocturnas con especies radicálicas y óxidos de nitrógeno, pueden contribuir a la transformación atmosférica del producto.

12.3. Potencial de bioacumulación: El factor de bioconcentración (log FBC) para el producto ha sido estimado en el rango de 1.78 a 1.97 lo que indica que la bioconcentración en

organismos acuáticos no es importante.

12.4. Movilidad en el suelo: El producto presenta una movilidad en suelo de baja a media.

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB: La sustancia no cumple todos los criterios específicos que se detallan en el Anexo XIII o no permite realizar una comparación directa con todos los criterios del Anexo XIII, pero sin embargo, se señala que la sustancia no presentaría todas estas propiedades y la sustancia no se considera un PBT/vPvB.

12.6. Otros efectos adversos: NP

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Eliminación: Dada la naturaleza altamente volátil del producto y los usos a los que normalmente se destina, no suelen existir excedentes de GLP.

Manipulación: NP

Disposiciones: NP

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

14.1. Número ONU: UN 1075

14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:
GASES DEL PETRÓLEO , LICUADOS.

14.3. Número de identificación de peligro: 23

14.4. Grupo de embalaje

ADR/RID: Clase 2. Código de clasificación: 2F. Código de restricción en túneles: B/D.

IATA-DGR: Clase 2.1.

IMDG: Clase 2.1.

14.5. Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: NP

IATA-DGR: NP

IMDG: NP

14.6. Transporte a granel con arreglo al anexo II del convenio Marpol 73/78 y del código IMSBC

No tiene categoría asignada para código IMSBC.

14.7. Precauciones particulares para los usuarios

Etiquetado como gas inflamable. Prohibido el transporte en aviones de pasajeros y limitado en barcos de pasajeros.

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

REGLAMENTO (UE) N° 453/2010: REQUISITOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA).

Reglamento (CE) no 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (CLP).

Ley N° 27314: Ley general de residuos sólidos.

D.S. 057-2004-PCM: que aprueba el reglamento de la Ley N° 27314, Ley general de residuos sólidos.

D.S. 015-2006-EM: Reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos.

D.S. 026-94-EM: Reglamento de seguridad para el transporte de hidrocarburos.

D.S. 030-98-EM: Reglamento para la comercialización de combustibles líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos.

D.S. 045-2001-EM: Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y otros Productos Derivados de los Hidrocarburos.

D. S. 041-2005-EM: Modificación del D. S. 025-2005-EM que aprueba el cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N.º 1 y N.º 2.

D. S. 025-2005-EM: Aprueban cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N.º 1 y N.º 2.

Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por carretera (ADR).

Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID).

Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG).

Regulaciones de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.

D.S. 021-2007-EM: Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles.

D.S. 064-2008-EM: Modifican Artículos del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles.

RCD-206-2009-OS-CD - Procedimiento Control Calidad de Biocombustibles y Mezclas.

RM 515-2009-MEM-DM - Establecen las Especificaciones de Calidad para el Gasohol.

R. S. 165-2008-MEM/DM: Calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20.

D.S. 061-2009-EM: Establecen criterios para determinar zonas geográficas en que se podrá autorizar la comercialización de combustible diesel un contenido de azufre máximo de 50 ppm.

Código internacional de sustancias químicas a granel (Código IMSBC), Convenio Marpol 73/78.

Reglamento Otros peligros

NP

15.2.Evaluación de la seguridad química

NP

SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

Glosario

CAS: Servicio de Resúmenes Químicos.

IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

TLV: Valor Límite Umbral.

TWA: Media Ponderada en el tiempo.

STEL: Límite de Exposición de Corta Duración.

REL: Límite de Exposición Recomendada.

PEL: Límite de Exposición Permitido.

INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental – Exposición Diaria.

VLA-EC: Valor Límite Ambiental – Exposición Corta.

DNEL/DMEL: Nivel sin efecto derivado / Nivel derivado con efecto mínimo.

PNEC: Concentración prevista sin efecto.

DL50: Dosis Letal Media.

CL50: Concentración Letal Media.

CE50: Concentración Efectiva Media.

CI50: Concentración Inhibitoria Media.

BOD: Demanda Biológica de Oxígeno.

NOAEL: nivel sin efectos adversos observados

NOEL: nivel de efecto nulo

NOAEC: Concentración sin efecto adverso observado

NOEC: Concentración sin efecto observado

NP: No procede

|| : Cambios respecto a la revisión anterior

Bases de datos consultadas

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Substances.

TSCA: Toxic Substances Control Act, US Environmental Protection Agency.

HSDB: US National Library of Medicine.

RTECS: US Dept. of Health & Human Services.

Texto completo de las Indicaciones de peligro que no están incluidas en el apartado 2

NP

Las empresas compradoras tienen la obligación de asegurar que sus empleados cuentan con la formación adecuada para manipular y utilizar el producto de forma segura, conforme a las indicaciones incluidas en esta ficha de datos de seguridad.

Asimismo, las empresas compradoras de este producto tienen la obligación de informar a sus empleados, y a las personas que pudieran manipularlo o utilizarlo en sus instalaciones, de todas las indicaciones incluidas en la ficha de datos de seguridad, especialmente, las referidas a los riesgos del producto para la seguridad y salud de las personas y para el medio ambiente.

La información que se suministra en este documento se ha recopilado en base a las mejores fuentes existentes y de acuerdo con los últimos conocimientos disponibles y con los requerimientos legales vigentes sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. Esto no implica que la información sea exhaustiva en todos los casos. Es responsabilidad del usuario determinar la validez de esta información para su aplicación en cada caso

ANEXO 3: Hoja de datos de seguridad del Gas Natural Licuado tomado de (Perú LNG, 2013)

	HOJA DE SEGURIDAD	Página 1 of 7
		Revisión: 0
		Date:11-Oct-2013
	GAS NATURAL LICUADO	Numero de documento: PRO-000-MSD-000

1. IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTO

Nombre del producto: **GNL** **Nombre completo del producto:** **Gas natural licuado**

Estado: Líquido

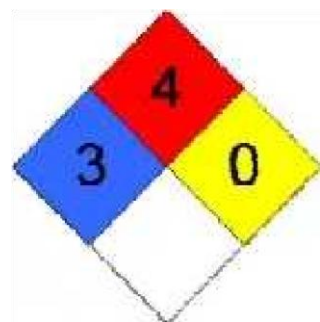
Uso general: GNL es normalmente calentado para producir gas natural y ser usado en el calentamiento de otros productos y generación de electricidad, así como otros usos industriales.

Fabricante : PERULNG S.R.L.
 Av. Victor Andrés Belaunde N° 147 Oficina 105
 San Isidro – Perú
 Tel: +511 707 2000
 Fax: + 511 707 2099

Sinónimos: Gas natural (seco), metano, líquido criogénico, GNL.

NFPA Caracterización: **Salud:** **3**

Inflamabilidad: 4
Reactividad: 0



Familia química: Hidrocarburo Parafina (saturada) y gases inertes.

Formula química: No aplicable. El producto es una mezcla

2. INFORMACIÓN Y COMPOSICIÓN

Componentes /Impurezas: Posee metano, etano, propano e hidrocarburos pesados.

COMPONENTES	FORMULA	CAS N°	MOL %
Metano	CH ₄	74-82-8	89.11
Etano	C ₂ H ₆	74-84-0	10.25
Propano	C ₃ H ₈	74-98-6	0.11
Nitrógeno	N ₂	7727-37-9	0.53
Dióxido de carbono	CO ₂	124-38-9	0.0
Agua	H ₂ O	7732-18-5	0.0
Sulfuro de hidrogeno	H ₂ S	7783-06-4	---
Benceno	C ₆ H ₆	71-43-2	---
Etileno	C ₂ H ₄	74-85-1	---

3. PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

	HOJA DE SEGURIDAD	Página 2 of 7
		Revisión: 0
		Date:11-Oct-2013
	GAS NATURAL LICUADO	Numero de documento PRO-000-MSD-000

El gas natural se licua a una temperatura aproximada de -162 °C. Después de este proceso, el gas está listo para el almacenamiento y transporte. GNL ocupa un volumen de 1/600 del volumen requerido para una cantidad comparable de gas natural. Es un líquido extremadamente frío.

Apariencia y olor: GNL es un líquido claro, sin color, sin olor, no corrosivo, no toxico. Peso molecular promedio: 17.57 Kg/Kmol

Viscosidad : 0.138 Cp

Densidad : 454.2 kilogramos por metro cubico Punto de congelamiento (760 mmHg): -173.37 °C (-280.06°F)

Punto de ebullición (760 mmHg): -156.6 °C (-249.9°F)

Gravedad especifica liquida (H₂O=1.00): 0.42 – 0.46

Solubilidad en agua: Menos de 3.5%vol.

Tensión superficial de líquido: 14 dinas/Cm a -161 °C

pH liquido : No aplicable (no basado en agua)

Tasa de evaporación : Normalmente un gas. El gas natural licuado se evapora más rápido que el dietil éter.

4. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Panorama de emergencia: el GNL ebullición rápidamente a gas a presión y temperatura estándar. Es un gas extremadamente inflamable y puede causar fuego o explosión.

Altas concentraciones pueden excluir oxígeno y causar mareos y sofocación. El GNL puede causar congelamiento y contaminación de tejidos.

Ruta de entrada: Inhalación, piel o contacto de ojos.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN AGUDA

Inhalación: Se considera como no tóxico por inhalación. Inhalación de altas concentraciones puede causar depresión del sistema central nervioso como mareo, dolor de cabeza, falta de coordinación muscular, falta de alerta mental, cianosis. Narcosis, disnea y síntomas similares o muerte por asfixia.

Contacto de ojos: El contacto con vapor presurizado o salpicadura de GNL puede causar quemadura o congelamiento.

Contacto de piel: El contacto directo con vapor presurizado puede causar congelamiento y quemadura. Signos de congelamiento incluyen un cambio en el color de la piel a gris o blanco seguido de una quemadura. La piel puede quemarse profundamente. El contacto con GNL puede causar severo congelamiento.

	HOJA DE SEGURIDAD	Página 3 of 7
		Revisión: 0
	GAS NATURAL LICUADO	Date:11-Oct-2013
		Numero de documento: PRO-000-MSD-000

Ingestión: No posible ruta de exposición

Efectos de exposición crónica: Ninguna

Condiciones médicas agravadas por exposición: Condiciones respiratorias como enfisema puede ser agravadas por larga exposición a altas concentraciones.

Condiciones cancerígenas : Ninguna propuesta por el Programa Nacional de toxicología (NTP) , Agencia internacional para el estudio de cáncer (IARC) o Conferencia Americana del Estado de Higiene e Industrial (ACGIH).

5. PRECAUCIONES DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Llevar a la persona a aire fresco rápidamente. Si la persona no está respirando proveerle respiración artificial. Si es necesario, proveerle oxígeno adicional una vez que su respiración es restaurada. Usar resucitación boca a boca o CPR según sea necesario si la asfixia ha ocurrido. Buscar por ayuda médica inmediatamente.

Contacto de Ojos : Si un daño físico ocurre debido a la liberación de gas de alta presión o una salpicadura de GNL, cubrirse ambos ojos para protegerse de la luz con un paño suelto y esterilizado, y obtener inmediata atención médica.

Contacto de piel: Si el gas es inyectado bajo la piel, tratar al paciente por shock y buscar ayuda médica inmediata. Si el GNL ha salpicado la piel, llevar al paciente fuera de la zona de contacto, enjuagar el área afectada con agua tibia. Aplicar un paño suelto y esterilizado. Obtener ayuda médica inmediata.

Ingestión: Alto riesgo por ingestión es extremadamente improbable, atención médica es necesaria si hay un caso de quemadura o congelamiento

6. PRECAUCIONES DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Riesgos específicos: El GNL libera gas inflamable a bajas temperaturas ambientales y rápidamente forma una mezcla inflamable con el aire.

El GNL puede ser particularmente peligroso durante incendios debido a su gran habilidad de enfriar rápidamente el agua. Un uso descuidado de agua puede causar hielo. Además, agua relativamente tibia incrementa grandemente la tasa de evaporación del gas natural. Si largas concentraciones de gas natural están presentes, el vapor de agua de los alrededores de aire puede condensar, creando una densa niebla que puede

producir dificultades para encontrar la llama existente o equipo.

Extintores apropiados: Clase B (Químico seco, dióxido de carbono, halón). Usar rociadores de agua para enfriar la llama que afecta a tanques, estructuras y equipo. No obstante, la llama puede no extinguirse a menos que el flujo de gas pueda ser inmediatamente detenido.

	HOJA DE SEGURIDAD	Página 4 of 7
		Revisión: 0
		Date:11-Oct-2013
	GAS NATURAL LICUADO	Numero de documento: PRO-000-MSD-00

Procedimientos especiales: Remover al personal innecesario. El personal de contraincendios debe usar respiradores de aire. Usar herramientas anti chispas para detener el gas. La llama de gas no puede ser extinguido a menos que el flujo de gas pueda ser inmediatamente detenido. Cortar la fuente de gas y permitir al gas quemarse y enfriar los alrededores.

Si el GNL se ha derramado, canalizar el líquido usando herramientas anti chispas y dispersar los vapores con niebla. Parar la fuga antes de extinguir el fuego. Mantener la fuga del gas natural, GNL o sus vapores fuera de las alcantarillas u otros espacios confinados. Datos de referencia del GNL:

Temperatura de auto ignición : 537 °C (999 °F)
Punto Flash : -187 °C (-306 °F)

Límite Inferior de inflamabilidad :	5%
Limite Superior de inflamabilidad :	15%

7. PRECAUCIONES EN CASO DE LIBERACIONES ACCIDENTALES DE GNL

Precauciones personales: Si la fuga es de GNL, ponerse la ropa apropiada de protección y canalizar el líquido con un absorbente. Usar niebla de agua para dispersar la nube de vapor. Mantener GNL o sus vapores fuera de las alcantarillas u otros espacios confinados. Limpiar el área afectada y permitir al líquido evaporarse y el gas disiparse.

Evacuar al personal no esencial y proteger todas las fuentes de ignición. No encaminar llamas, humos o flamas en el área de riesgo. Considerar la dirección del viento, mantenerse contra el viento si es posible. Evaluar la dirección de viaje del producto. La nube fría de vapor puede ser blanca, pero el color se disipará cuando la nube se

disperse y la llama fuera en caso de fuga /derrame.y el riesgo de explosión están aún presentes.

Mantener al público

Métodos de limpieza: Ventilar áreas.

8. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Procedimientos de manejo: Abrir lentamente para evitar un golpe de presiones. Proteger el sistema contra el daño físico. Segregar el sistema de gases inflamables y otros inflamables. Usar ventilación adecuada.

Requerimientos de almacenamiento: Almacenar en un lugar frío y de buena ventilación.

	HOJA DE SEGURIDAD	Página 5 of 7
		Revisión: 0
	GAS NATURAL LICUADO	Date:11-Oct-2013
		Numero de documento: PRO-000-MSD-000

9. CONTROL DURANTE EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL

Ventilación: Usar adecuada ventilación para mantener las concentraciones de gas debajo de la exposición ocupacional y límites de inflamabilidad. Si es apropiado, instalar monitoreo apropiado de equipo para detectar la presencia de mezclas aire-gas potencialmente explosivos y el nivel de oxígeno.

Protección de ojos: Usar lentes o un implemento de protección de cara para protección del gas presurizado o GNL.

Guantes: Usar guantes de protección de bajas temperaturas durante el trabajo con GNL.

Respirador: Usar un respirador suministrador de aire (NIOSH/MSHA aprobado con presión positiva) con botella de escape o un aparato de respiración (SCBA) para concentración de gas arriba de los límites de exposición ocupacional.

Ropa de protección: Ropa de flama retardante, incluye guantes de algodón o cuero, deben ser usados en cualquier situación donde gas natural presurizado o vapores de GNL pueden encenderse accidentalmente.

Equipo: Usar un instrumento de prueba de explosión de oxígeno [O₂], no un detector de gas combustible, chequear la atmosfera que pueda ser deficiente en oxígeno. Si la lectura de oxígeno esta debajo de 19%, usar un respirador de aire con una apropiada mascarilla.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Reactividad: Estable a presión y temperaturas normales. Estable cuando el contenido no es expuesto a oxidantes o calor.

Condiciones causantes de inestabilidad: Fuentes oxidantes, fuentes de ignición y calor, chispas friccionales, arco eléctrico pueden causar ignición.

Reacciona explosivamente con Cl₂, BF₅, OF₂, NF₃, and ClO₂. En contacto con oxígeno líquido (LOX) o fluoruro líquido (LF₂), GNL explotara.

Descomposición riesgosa: Dióxido de carbono, monóxido de carbono y productos hidrocarburos de combustión parcialmente oxidada(aldehídos, ácidos, hollín).

Polimerización: No polimerizara

Corrosividad : Ninguna

	HOJA DE SEGURIDAD	Página 6 of 7
		Revisión: 0
		Date:11-Oct-2013
	GAS NATURAL LICUADO	Numero de documento: PRO-000-MSD-000

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Metano y etano, los componentes principales del gas natural son considerados prácticamente inertes en términos de efectos fisiológicos. A altas concentraciones estos materiales actúan como simple asfixiantes que pueden causar muerte debido a la falta de oxígeno.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Este producto es esperado encontrarse enteramente en la fase vapor en el aire ambiental.

Algún efecto adverso en animales debería estar relacionado a ambientes deficientes de oxígeno.

Ningún efecto adverso es anticipado de ocurrir durante la vida de la planta, excepto por hieló producido en la presencia de gases en expansión rápida.

Ninguna evidencia ha sido encontrada de los efectos de GNL o sus vapores en la vida acuática.

13. CONDICIONES DE DISPOSICIÓN

El gas se disipara en el aire. Consultar regulaciones de residuos locales e internacionales para determinar los métodos apropiados de disposición.

14. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

Clase de riesgo:	2.1
Número de identificación Dot:	UN 1972
Etiqueta de riesgo Dot:	Gas inflamable
Grupo de empaquetado	: No disponible
Designación IMO/UN:	2.0/1058
Estabilidad durante transporte:	Estable
Contaminación Marina:	GNL no es clasificado por la DOT como un contaminante m